

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**ESTUDO DE FATORES QUE INFLUENCIAM A PERFORMANCE DE SISTEMAS  
DE AQUECIMENTO D'ÁGUA COM COLETORES PLANOS**

**Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.**

**ROBERTO WIDERSKI**

**FLORIANÓPOLIS, 2002**

**ESTUDO DE FATORES QUE INFLUENCIAM A PERFORMANCE DE SISTEMAS  
DE AQUECIMENTO D'ÁGUA COM COLETORES PLANOS**

ROBERTO WIDERSKI

Esta dissertação foi julgada adequada para obtenção do título de  
**MESTRE EM ENGENHARIA**  
Especialidade ENGENHARIA CIVIL e aprovada em sua forma final pelo  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

---

Prof. Ricardo Rüther, Dr.  
Orientador

---

Prof. Jucilei Cordini, Dr.  
Coordenador

**COMISSÃO EXAMINADORA**

---

Prof. Cláudio E. Pietrobon, Dr.

---

Prof<sup>a</sup> Sonia Afonso, Dr<sup>a</sup>

---

Prof. Roberto Lamberts, Dr.

Aos pesquisadores na área de Energia Renovável,  
por estarem contribuindo com a preservação do  
nosso planeta.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus.

À minha querida esposa, Ana Paula, por seu amor traduzido em compreensão, carinho e incentivo constantes nos momentos difíceis deste processo.

Ao professor Ricardo Rütther, pela orientação e incentivo no desenvolvimento deste trabalho.

Ao professor Claudio E. Pietrobon, por acreditar, incentivar e valorizar o desenvolvimento à pesquisa.

Ao professor Roberto Lamberts, pelos esclarecimentos que muito contribuíram na elaboração e execução deste trabalho.

Ao CEFET-PR (Unidade de Campo Mourão) e ao CIES (Centro Integrado de Ensino Superior – Campo Mourão) pelo apoio e compreensão durante a realização deste trabalho.

Aos amigos do Laboratório de Informática do CIES, pela ajuda técnica.

Ao amigo José Márcio, pelo companheirismo e auxílio na discussão do trabalho.

E, em especial, à minha família, pela incansável dedicação a mim e a minha formação.



“Ser simpático com as pessoas é apenas 20% da prestação de bons serviços aos clientes. A parte importante é projetar sistemas que lhe permitam fazer o trabalho de maneira correta na primeira vez. Todos os sorrisos do mundo não irão ajudá-lo se o produto ou serviço não for aquilo que o cliente deseja.”

*Sewell & Brown*

## SUMÁRIO

<b><u>LISTA DE FIGURAS</u></b> .....	<b>viii</b>
<b><u>lista de tabelas</u></b> .....	<b>xi</b>
<b><u>Resumo</u></b> .....	<b>xii</b>
<b><u>ABSTRACT</u></b> .....	<b>xiii</b>
<b><u>1 INTRODUÇÃO</u></b> .....	<b>1</b>
<b><u>2 Revisão Bibliográfica</u></b> .....	<b>3</b>
<u>2.1 Conceitos Fundamentais: Energia Solar</u> .....	3
<u>2.1.1 Conceitos de radiação solar</u> .....	3
<u>2.2 NBR 12269 – Execução de Instalações de Sistemas de Energia Solar que Utilizam Coletores Solares Planos para Aquecimento de Água – Algumas Considerações</u> .....	5
<u>2.3 NBR-10184 – Coletores Solares Planos para Líquidos - Determinação do Rendimento Térmico</u> .....	9
<u>2.3.1 Considerações sobre coletores solares</u> .....	11
<u>2.3.2 Coletores de placa plana</u> .....	12
<u>2.3.3 Considerações arquitetônicas</u> .....	12
<u>2.4 Reservatório Térmico</u> .....	13
<u>2.5 Energia Solar para Fins Domésticos</u> .....	15
<u>2.6 Aplicações no Aquecimento de Água ou Ar</u> .....	16
<u>2.7 Coletor Solar Plano Utilizando Superfícies Seletivas e Tubos de Calor</u> .....	16
<u>2.8 Telha Coletora de Energia Solar de Cimento Amianto</u> .....	17
<u>2.9 Ação que Auxilia na Expansão do Aquecimento Solar</u> .....	19
<u>2.10 Construindo Soluções Integradas</u> .....	20
<u>2.11 Projetos de Casas Solares</u> .....	20
<u>2.12 Design de Construções Passivas ao Recebimento da Luz Solar em Áreas Urbanas</u> .....	21
<u>2.13 Performance Térmica de Sistemas Solares Combinados com Diferentes Eficiências de Coletor</u> .....	23
<u>2.14 Energia Solar no Brasil</u> .....	23
<u>2.14.1 Programa Brasileiro de Etiquetagem de Coletores Solares Planos INMETRO/ABRAVA</u> .....	24
<b><u>3 METODOLOGIA</u></b> .....	<b>26</b>
<b><u>4 Resultado da Pesquisa de Campo em Campo Mourão e Cidades Vizinhas</u></b> .....	<b>27</b>

<u>4.1 Etapas para Análise</u>	32
<u>4.1.1 Inventário do local</u>	33
<u>4.1.1.1 Levantamento fotográfico</u>	33
<u>4.1.2 Croqui do local</u>	33
<u>4.1.2.1 Situação esquemática</u>	33
<u>4.1.2.2 Vista lateral</u>	33
<u>4.1.3 Análise dos casos</u>	33
<u>4.1.3.1 Programa Radiasol desenvolvido pelo Laboratório de Energia Solar (GESTE- PROMC da UFRGS)</u>	33
<u>4.1.3.2 Planilha de incidência solar e sombreamento</u>	34
<u>4.1.4 Conclusão dos dados</u>	35
<b><u>5 ANÁLISES</u></b>	<b>36</b>
<u>5.1 Resultados da Pesquisa de Campo</u>	36
<u>5.2 Considerações Sobre as Fotos Aéreas</u>	39
<u>5.3 Análise dos Casos de Campo Mourão</u>	45
<u>5.3.1 Caso 1</u>	45
<u>5.3.2 Caso 2</u>	49
<u>5.3.3 Caso 3</u>	52
<u>5.3.4 Caso 4</u>	55
<u>5.3.5 Caso 5</u>	59
<u>5.4 Estudo de Casos em Cidades Vizinhas</u>	61
<u>5.4.1 Caso 1</u>	61
<u>5.4.2 Caso 2</u>	65
<u>5.4.3 Caso 3</u>	69
<u>5.4.4 Caso 4</u>	73
<u>5.4.5 Caso 5</u>	77
<u>5.4.6 Caso 6</u>	80
<b><u>CONCLUSÃO</u></b>	<b>85</b>
<b><u>BIBLIOGRAFIA</u></b>	<b>87</b>

## LISTA DE FIGURAS

<a href="#">FIGURA 1: Esquema de Instalação em Termossifão ou Circulação Natural</a> .....	6
<a href="#">FIGURA 2: Esquema de instalação: bombeamento ou circulação forçada</a> .....	7
<a href="#">FIGURA 3: Isométrica do Coletor</a> .....	9
<a href="#">FIGURA 4: Reservatório Térmico</a> .....	13
<a href="#">FIGURA 5: Mapa Político Brasileiro, em destaque o estado do PR.</a> .....	27
<a href="#">FIGURA 6: Mapa Político do Paraná evidenciando os municípios de Campo Mourão e Curitiba.</a> .....	28
<a href="#">FIGURA 7: Mapa da malha urbana de Campo Mourão</a> .....	29
<a href="#">FIGURA 8: Mapa de Campo Mourão, área de estudo</a> .....	30
<a href="#">FIGURA 9: Indústrias Nacionais de Coletores Solares Planos distribuídas por estados</a> .....	36
<a href="#">FIGURA 10: Indústrias Nacionais filiadas a ABRAVA</a> .....	36
<a href="#">FIGURA 11: Indústrias Nacionais com o selo do INMETRO</a> .....	38
<a href="#">FIGURA 12: Foto aérea A1</a> .....	39
<a href="#">FIGURA 13: Foto aérea B1</a> .....	41
<a href="#">FIGURA 14: Foto aérea B2</a> .....	41
<a href="#">FIGURA 15: Foto aérea C1</a> .....	42
<a href="#">FIGURA 16: Foto aérea D1</a> .....	43
<a href="#">FIGURA 17: Foto aérea E1</a> .....	43
<a href="#">FIGURA 18: Foto aérea F1</a> .....	44
<a href="#">FIGURA 19: Foto aérea</a> .....	44
<a href="#">FIGURA 20: Croqui do caso 1</a> .....	46
<a href="#">FIGURA 21: Foto observador 1</a> .....	47
<a href="#">FIGURA 22: Foto observador 2</a> .....	47
<a href="#">FIGURA 23: Gráfico de radiação solar ideal</a> .....	48
<a href="#">FIGURA 24: Gráfico de radiação solar atual</a> .....	48
<a href="#">FIGURA 25: Croqui do caso 2</a> .....	50
<a href="#">FIGURA 26: Foto Aérea</a> .....	50
<a href="#">FIGURA 27: Gráfico de radiação solar atual</a> .....	51
<a href="#">FIGURA 28: Gráfico de radiação solar ideal</a> .....	51
<a href="#">FIGURA 29: Croqui do caso 3</a> .....	53
<a href="#">FIGURA 30: Foto observador 1</a> .....	53
<a href="#">FIGURA 31: Foto observador 2</a> .....	54

<a href="#"><u>FIGURA 32: Gráfico da radiação solar atual</u></a> .....	55
<a href="#"><u>FIGURA 33: Gráfico da situação ideal</u></a> .....	55
<a href="#"><u>FIGURA 34: Croqui do caso 4</u></a> .....	56
<a href="#"><u>FIGURA 35: Foto observador 1</u></a> .....	57
<a href="#"><u>FIGURA 36: Foto observador 2</u></a> .....	57
<a href="#"><u>FIGURA 37: Gráfico da Radiação Solar Atual</u></a> .....	58
<a href="#"><u>FIGURA 38: Gráfico da Radiação Solar Ideal</u></a> .....	58
<a href="#"><u>FIGURA 39: Foto 1 do caso 5</u></a> .....	60
<a href="#"><u>FIGURA 40: Foto 2 do caso 5</u></a> .....	60
<a href="#"><u>FIGURA 41: Croqui do caso 1</u></a> .....	62
<a href="#"><u>FIGURA 42: Foto observador 1</u></a> .....	63
<a href="#"><u>FIGURA 43: Foto observador 2</u></a> .....	63
<a href="#"><u>FIGURA 44: Gráfico de Radiação Solar - Atual</u></a> .....	64
<a href="#"><u>FIGURA 45: Gráfico de Radiação Solar – Ideal</u></a> .....	64
<a href="#"><u>FIGURA 46: Croqui do caso 2</u></a> .....	66
<a href="#"><u>FIGURA 47: Foto observador 1</u></a> .....	67
<a href="#"><u>FIGURA 48: Foto observador 2</u></a> .....	67
<a href="#"><u>FIGURA 49: Gráfico de radiação solar ideal</u></a> .....	68
<a href="#"><u>FIGURA 50: Gráfico de radiação solar atual</u></a> .....	68
<a href="#"><u>FIGURA 51: Croqui do caso 5</u></a> .....	70
<a href="#"><u>FIGURA 52: Foto observador 1</u></a> .....	71
<a href="#"><u>FIGURA 53: Foto observador 2</u></a> .....	71
<a href="#"><u>FIGURA 54: Gráfico da radiação solar atual</u></a> .....	72
<a href="#"><u>FIGURA 55: Gráfico da radiação solar ideal</u></a> .....	72
<a href="#"><u>FIGURA 56: Croqui do caso 6</u></a> .....	74
<a href="#"><u>FIGURA 57: Foto observador 1</u></a> .....	75
<a href="#"><u>FIGURA 58: Foto observador 2</u></a> .....	75
<a href="#"><u>FIGURA 59: Gráfico de Radiação Solar Atual</u></a> .....	76
<a href="#"><u>FIGURA 60: Gráfico de Radiação Solar Ideal</u></a> .....	76
<a href="#"><u>FIGURA 61: Croqui do caso 9</u></a> .....	78
<a href="#"><u>FIGURA 62: Foto observador 2</u></a> .....	79
<a href="#"><u>FIGURA 63: Gráfico da radiação solar atual</u></a> .....	80
<a href="#"><u>FIGURA 64: Gráfico da radiação solar ideal</u></a> .....	80
<a href="#"><u>FIGURA 65: Croqui do caso 10</u></a> .....	81
<a href="#"><u>FIGURA 66: Foto observador 1</u></a> .....	82

<a href="#"><u>FIGURA 67: Foto observador 2</u></a> .....	82
<a href="#"><u>FIGURA 68: Gráfico da radiação solar atual</u></a> .....	82
<a href="#"><u>FIGURA 69: Gráfico da radiação solar ideal</u></a> .....	84

## LISTA DE TABELAS

<a href="#"><u>TABELA 1: Quadro de radiação solar sem sombreamento</u></a> .....	48
<a href="#"><u>TABELA 2: Planilha de incidência solar e sombreamento</u></a> .....	49
<a href="#"><u>TABELA 3: Quadro de radiação solar sem sombreamento</u></a> .....	51
<a href="#"><u>TABELA 4: Planilha de Incidência Solar e Sombreamento</u></a> .....	52
<a href="#"><u>TABELA 5: Quadro de radiação solar sem sombreamento</u></a> .....	54
<a href="#"><u>TABELA 6: Quadro de Radiação Solar sem Sombreamento</u></a> .....	58
<a href="#"><u>TABELA 7: Planilha de Incidência Solar e Sombreamento</u></a> .....	59
<a href="#"><u>TABELA 8: Quadro de Radiação Solar sem Sombreamento</u></a> .....	64
<a href="#"><u>TABELA 9: Planilha de Incidência Solar e Sombreamento</u></a> .....	65
<a href="#"><u>TABELA 10: Quadro de radiação solar sem sombreamento</u></a> .....	68
<a href="#"><u>TABELA 11: Planilha de Incidência Solar e Sombreamento</u></a> .....	69
<a href="#"><u>TABELA 12: Quadro de radiação solar sem sombreamento</u></a> .....	72
<a href="#"><u>TABELA 13: Planilha de incidência solar e sombreamento</u></a> .....	73
<a href="#"><u>TABELA 14: Planilha de Incidência Solar e Sombreamento</u></a> .....	76
<a href="#"><u>TABELA 15: Quadro de Radiação Solar sem Sombreamento</u></a> .....	77
<a href="#"><u>TABELA 16: Quadro de radiação solar sem sombreamento</u></a> .....	80
<a href="#"><u>TABELA 17: Quadro de radiação sem sombreamento</u></a> .....	83

## RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo dos fatores que influenciam a performance de sistemas de aquecimento d'água com coletores solares planos para residências. Além disso foi realizada uma catalogação, em nível nacional, das indústrias fabricantes do sistema e seu estado da arte. Na cidade de Campo Mourão – PR e cidades vizinhas, foram identificados sistemas instalados que apresentavam os seguintes problemas: a) acúmulo de sujeira sobre o vidro coletor; b) sombras nos coletores; c) inclinação dos coletores fora das recomendações. Com esses levantamentos verificamos que o Brasil apresenta um número significativo de indústrias no setor e que estas podem receber amparos técnicos de universidades, bem como a certificação fornecida pelo INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia, Normatização e Qualidade Industrial). Com relação ao levantamento local foi possível constatar que projetistas, instaladores e proprietários não detêm total conhecimento para a empregabilidade desse sistema. Com isso concluímos que o produto em questão funciona, porém falta um trabalho de troca de informações entre fabricante e projetistas.

**Palavras-chave:** energia solar; coletores solares planos; aquecimento d'água; sistema solar à termossifão.



## ABSTRACT

This work shows installation-related factors that have influence on the performance of residential-type flat plane solar thermal collectors. A compilation of industries producing solar thermal equipment was also carried out nationwide. Campo Mourão – PR, and neighbouring cities was chosen for a more detailed study on typical installation-related problems like (I) dust accumulation on the collector front glass; (II) collector shading by trees, construction; and (III) inadequate orientation and tilt. The analysis showed a considerable market and an expressive number of industries in this field in Brazil, most of which are not assisted or connected to any centre of expertise in this area (Universities, INMETRO). The local survey revealed that designers, builders and owners do not have enough knowledge about the technology to make the best of it. Although the technology is demonstrated, there is a missing link between manufacturers and installers, designers and end-users.

**Key-words:** solar energy; flat solar collectors; heating water; solar system by thermosyphon.

# 1 INTRODUÇÃO

No mundo contemporâneo a demanda energética tende a um crescimento vertiginoso para atender as necessidades da população. Afetado pelos efeitos de uma crise energética que vem se prolongando, o homem tem-se voltado para a natureza, buscando as alternativas capazes de proporcionar a energia de que tanto necessita para a manutenção de um nível de vida compatível com suas necessidades.

Dentre as alternativas energéticas oriundas dos recursos renováveis, algumas não tem sido desenvolvidas por limitações técnicas e econômicas, outras são utilizadas parcialmente, sendo os exemplos mais comuns o da utilização de energia solar, energia eólica e biomassa. No entanto, a forma de energia que tem despertado o interesse é a energia solar, e espera-se que com o atual estágio do conhecimento esta venha a ser melhor aproveitada.

O Brasil, em particular, devido ao fato de ser um país de dimensões continentais e situar-se quase inteiramente numa região tropical, possui um dos maiores potenciais do mundo para a utilização do sol como alternativa de fonte de energia.

Atualmente uma das formas de aproveitamento de energia solar é o aquecimento de águas residenciais, utilizando como processo de conversão de energia solar em energia térmica para aquecimento de água, coletores solares planos, os quais dependem de vários parâmetros oriundos das edificações que envolvem os profissionais da construção, para que o sistema atinja o máximo de sua eficiência.

Com base no exposto, o objetivo deste estudo é investigar os fatores que influenciam a performance de sistemas de aquecimento d'água com coletores solares planos para residências. Para tanto, será realizada uma pesquisa, em nível nacional, das indústrias fabricantes do sistema e seu estado da arte, e na sequência uma pesquisa de campo na cidade de Campo Mourão, Paraná, bem como em outras cidades circunvizinhas para verificar “in loco” como se encontram posicionados os coletores solares nas residências que compõem os setores dos partidos urbanísticos selecionados para a pesquisa.

Para maior clareza, esta dissertação divide-se, além do capítulo introdutório, em quatro capítulos.

O segundo capítulo enfoca a revisão bibliográfica, na qual aborda-se os conceitos de energia solar e dos coletores solares, com ênfase nos conceitos apresentados pela NBR 10184, bem como todas as condições fixadas pelas NBRs (Norma Brasileira Registrada) no que se refere a execução de instalações de sistemas de energia solar que utilizam coletores solares planos para aquecimento de água e mecanismos de transferência de calor envolvidos. Ainda,

faz-se algumas considerações sobre o desafio que é para a área de Arquitetura a instalação de coletores nas edificações, e também sobre o programa brasileiro de etiquetagem de coletores solares planos que está a cargo do INMETRO/ABRAVA.

São apresentados no terceiro capítulo os procedimentos metodológicos que norteiam esta pesquisa, tendo em vista o objetivo proposto.

No quarto capítulo contém o resultado da pesquisa de campo em Campo Mourão e cidades circunvizinhas, distribuídos na seguinte ordem: inventário do local, croqui do local, análise dos casos, planilhas de incidência solar e sombreamento. Para análise dos casos, procurou-se classificá-los dentro de três temas:

- a) orientação, inclinação e localização dos coletores conforme recomendações das NBRs e fabricantes;
- b) existência de vegetação próxima às instalações dos coletores;
- c) períodos de manutenção.

No quinto capítulo realizam-se as análises dos resultados com base nos dados levantados nos estudos de casos, dividido em duas etapas: 1. os casos de Campo Mourão; 2. casos das cidades circunvizinhas

E por fim a conclusão dos dados, com o objetivo de determinar as principais causas que influenciam a baixa performance do sistema de aquecimento de água com coletores solares planos, bem como as conclusões resultantes das análises dos casos. E, por último as referências bibliográficas que embasam esta pesquisa.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Conceitos Fundamentais: Energia Solar**

A crise de energia ocorrida em novembro de 1973 colocou o mundo ocidental em alerta, levando à busca de alternativas de novas fontes de energia. Nessa busca, contudo, descobrimos o uso da energia solar, e o mais importante, descobrimos que o aproveitamento desta energia “é uma ciência com milhares de anos, que foi redescoberta no nosso século” (SABADY, 1979, p. 7).

Nesse contexto surge a necessidade de novas tecnologias que possibilitem captar a radiação solar e armazenar a água aquecida. Como o sol gera a energia, dependia então dos pesquisadores a construção dos elementos de absorção, bem como os elementos de armazenagem (SABADY, 1979).

#### **2.1.1 Conceitos de radiação solar**

A Norma Brasileira Registrada (NBR) 10184 apresenta os seguintes conceitos de radiação solar:

- a) Radiação solar ou radiação de onda curta: radiação originada do sol, numa temperatura cerca de 6000 K e substancialmente num intervalo de comprimento de onda entre 0,3  $\mu\text{m}$  a 3,0  $\mu\text{m}$ .
- b) Radiação solar direta sobre uma superfície: radiação solar que incide numa superfície sem ter sofrido qualquer mudança de direção além da refração atmosférica.
- c) Radiação solar difusa sobre uma superfície: radiação solar que incide numa superfície após sua direção original ter sido modificada por reflexão ou espalhamento na atmosfera.
- d) Radiação total sobre uma superfície: radiação solar direta acrescida da radiação solar difusa que incide numa superfície.
- e) Ângulo zenital ou distância zenital: ângulo de vértice no observador e formado pelas semi-retas definidas pela direção do sol e perpendicular ao plano horizontal.  
Símbolo:  $Y_z$  Variação:  $0 \leq Y_z \leq 90^\circ$
- f) Altitude solar: ângulo complementar do ângulo zenital.  
Símbolo:  $\alpha$  Variação:  $0 \leq \alpha \leq 90^\circ$

- g) Declinação solar: ângulo de vértice no centro da terra, formado pela semi-reta determinada pela direção do sol e o plano do Equador.  
 Símbolo:  $\delta$  Variação:  $-23,45^\circ \leq \delta \leq 23,45^\circ$ .  
 Convenção: positivo a partir do equinócio de março e durante os meses seguintes até o equinócio de setembro.
- h) Ângulo horário: ângulo diedro com aresta no eixo de rotação da terra e formado pelo semi-plano que contém o sol e o semi-plano que contém o meridiano do local.  
 Símbolo:  $\odot$  Variação:  $-180 \leq \odot \leq 180^\circ$ .
- i) Convenção: cada hora é igual a  $15^\circ$  de variação, com as manhãs negativas e as tardes positivas.
- j) Latitude: ângulo de vértice no centro da terra e formado pela semi-reta com direção do ponto considerado e o plano do Equador.  
 Símbolo :  $\phi$  Variação:  $-90^\circ \leq \phi \leq 90^\circ$ .
- k) Convenção: positivo para o hemisfério norte.
- l) Inclinação de uma superfície: ângulo de maior declive entre a superfície e o plano horizontal.  
 Símbolo:  $\beta$  Variação:  $0^\circ \leq \beta \leq 90^\circ$ .
- m) Azimute de uma superfície: ângulo entre o meridiano e a projeção no plano horizontal da reta normal à superfície.  
 Símbolo:  $\gamma$  Variação:  $-180^\circ \leq \gamma \leq 180^\circ$ .
- n) Convenção: positivo quando no sentido horário a partir do meridiano  $S = 0^\circ$ .
- o) Ângulo de incidência sobre uma superfície: ângulo entre a normal à superfície e a reta determinada pela direção do sol no pé da normal.  
 Símbolo:  $\theta$  Variação:  $0^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$ .
- p) Fluxo de radiação: energia incidente sobre (ou emitida por) um plano, por unidade da área e por unidade de tempo proveniente de todas (ou para todas) as direções de um mesmo lado do plano. No caso de emissão inclui as componentes refletivas e transmitidas além daquela emitida conforme seu nível de temperatura.
- q) Unidade de medida:  $W/m^2$
- r) Símbolos: Fluxo de radiação solar total:  $G$ ; Fluxo de radiação solar direta:  $G_b$ ; Fluxo de radiação solar:  $G_d$ .

- s) Energia solar incidente: energia incidente sobre um plano, por unidade de área, devido a sua exposição ao fluxo de radiação solar, durante um certo intervalo de tempo. Unidade: J/m<sup>2</sup>; Símbolos: Energia solar incidente total: H; incidente direta: H<sub>b</sub>; incidente difusa: H<sub>d</sub>
- t) Intensidade de radiação: energia incidente sobre (ou emitida por) um plano por unidade de área, por unidade de tempo e por unidade de ângulo sólido, cuja direção seja perpendicular ao plano. Unidade: W/m<sup>2</sup> sr; Símbolo: I.
- u) Constante solar: fluxo de radiação solar recebido por uma superfície posicionada perpendicularmente à direção de propagação da radiação, fora da atmosfera terrestre na distância média da terra do sol. Unidade: W/m<sup>2</sup>; Símbolo: G<sub>sc</sub>; Valor: 1353 W/m<sup>2</sup>.

## **2.2 NBR 12269 – Execução de Instalações de Sistemas de Energia Solar que Utilizam Coletores Solares Planos para Aquecimento de Água – Algumas Considerações**

A Norma Brasileira Registrada 12269 fixa as condições exigíveis para a execução de instalações de sistemas de energia solar que utilizam coletores solares planos para aquecimento de água.

Esta norma é aplicável aos sistemas em que a movimentação de água se faz por termossifão ou por circulação forçada, bem como aos sistemas em que a água aquecida é consumida ou não (como piscinas, tanques, etc.).

Em contrapartida, essa norma não é aplicável aos sistemas que usam trocadores de calor para conexão de um circuito primário a um circuito secundário e aos sistemas que usam fluidos de trabalho diferentes da água.

Esse documento abrange os aspectos de funcionamento, segurança, especificação de componentes, materiais e serviços, definição de responsabilidades, manutenção, montagem e pré-requisitos para este tipo de instalação.

É importante ressaltar que essa NBR 12269 define o sistema de aquecimento de água à termossifão e à circulação forçada, a saber:

**Termossifão:** conforme a figura 1, é uma forma de movimentação de um fluido (no caso desta norma, água em um sistema de energia solar) devido unicamente à diferença de sua densidade em regiões diferentes do circuito hidráulico, provocada por temperaturas diferentes naquelas regiões.

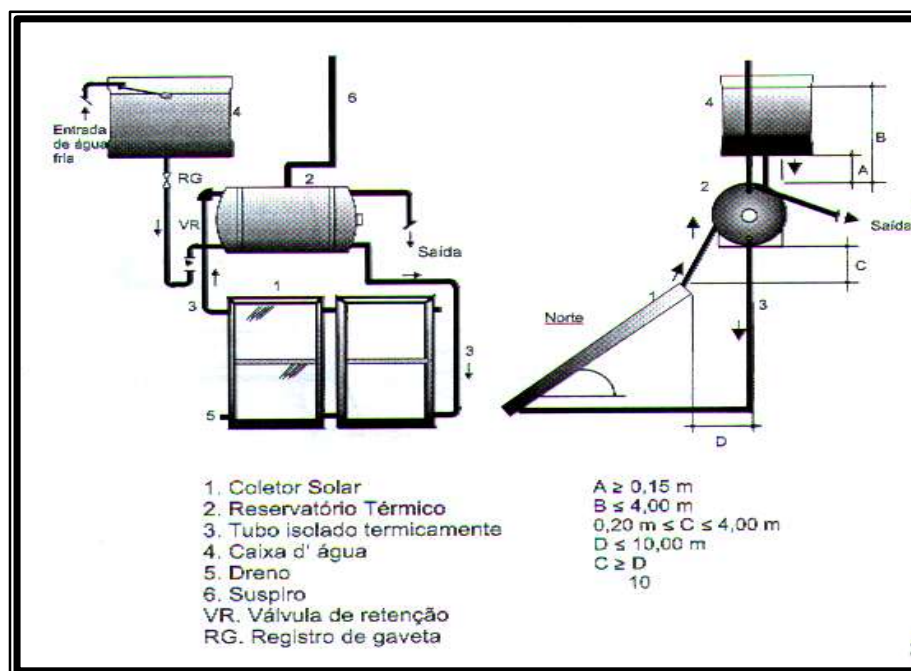


FIGURA 1: Esquema de Instalação em Termossifão ou Circulação Natural

Fonte: Manual Técnico Básico de Aquecimento Solar – ENALTER

Ainda sobre o assunto, BEZERRA (1990) assevera que as duas massas de água que se comunicam, possuem temperaturas diferentes, origina-se o fenômeno conhecido por convecção. O mecanismo desse fenômeno é baseado na diferença de densidade, isto é, a massa de água de temperatura mais alta e, portanto, de densidade menor, vai fluir em direção à massa de água de maior densidade, ou de menor temperatura. Enquanto existir uma diferença de temperatura entre dois reservatórios, tem lugar um escoamento descendente do fluido mais pesado e um movimento ascendente do fluido mais leve.

Quando isso ocorre unicamente como resultado de um gradiente de temperatura (diferença de temperatura), o mecanismo de transmissão de calor é chamado de “*convecção natural ou termossifão*” (Op. Cit., p. 29).

A transmissão de calor e o movimento do líquido na convecção natural não têm o concurso de quaisquer mecanismos que possam contribuir para o deslocamento do fluido. Muito embora o fenômeno provoque a transferência de energia interna armazenada no fluido, da mesma maneira que na circulação forçada, verificamos que tanto os coeficientes de transferência de calor como a intensidade do movimento do fluido são menores do que no caso da circulação forçada.

Nos coletores planos com circulação natural, a convecção é o mecanismo principal da transferência de calor entre o coletor e o tanque de armazenamento ou estocagem de água quente.

Verificamos, portanto, que a tubulação que constitui a grade do coletor deverá oferecer a menor resistência possível à passagem do fluido, assim também como deverão, tanto quanto possível, ser evitadas as perdas de carga por mudanças bruscas de direção da massa líquida no circuito coletor/tanque de estocagem, para que o fenômeno da convecção natural não sofra solução de continuidade, o que só prejudicaria o funcionamento do sistema de aquecimento.

No caso específico dos coletores com circulação natural, a gravidade é a única força responsável pelas correntes convectivas, e por essa razão é que a velocidade do fluido é baixa.

**Circulação forçada conforme figura 2:** forma de movimentação de um fluido (no caso desta norma, água em um sistema de energia solar) devido predominantemente à imposição externa de pressão no circuito hidráulico (por exemplo, através de uma motobomba ou uma coluna de água). A movimentação da água pode ocorrer de forma contínua ou intermitente.

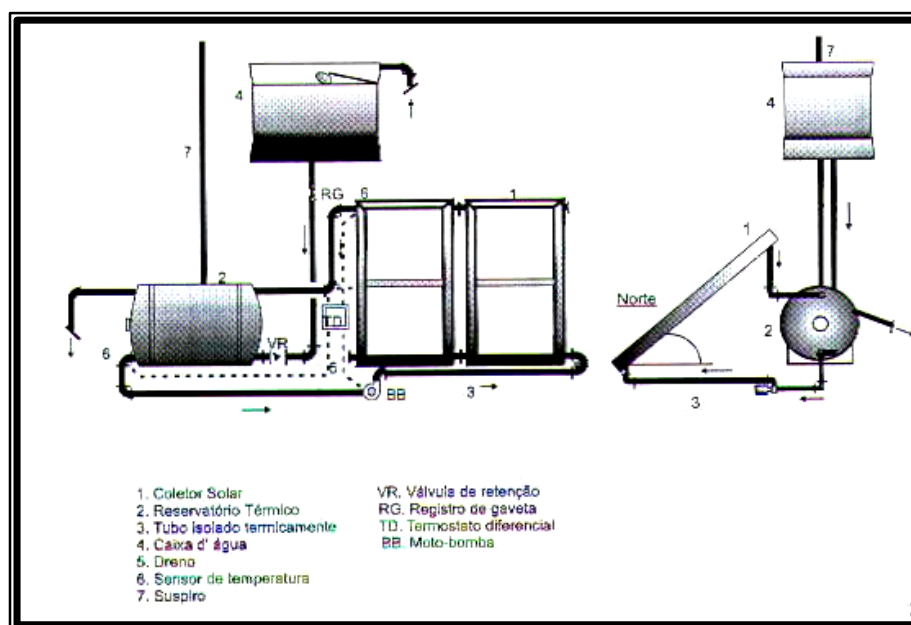


FIGURA 2: Esquema de instalação: bombeamento ou circulação forçada

Fonte: Manual Técnico Básico de Aquecimento Solar-Enalter

Quanto às instalações do sistema de energia solar a norma determina que as mesmas devem obedecer às condições de segurança, de acordo com os códigos locais, e que o engenheiro responsável deve certificar-se de que o coletor será montado com a correta



orientação solar e ângulo de inclinação como especificado pelo fabricante ou projetista, em uma posição em que se obtenha ótima exposição solar sem excessiva sombra de outras construções ou vegetação.

Com relação ao manual de operação e manutenção a norma exige que as informações e sua cessão ao usuário são de responsabilidade do engenheiro responsável, que deve instruir o usuário no método de operação do sistema e lhe entregar uma cópia das instruções de operação e manutenção.

Para obter uma correta instalação dos sistemas é necessário um estudo preliminar das condições existentes no local. A norma sugere que se obtenham os dados mínimos contidos no Anexo A da mesma.

Desta forma os coletores solares devem ser instalados voltados para o Norte verdadeiro. Desvios de até 15° desta direção não prejudicam seriamente a eficiência. Instalações executadas nas regiões brasileiras situadas no hemisfério Norte devem ter seus coletores solares voltados para o Sul verdadeiro. Todavia são instalados com ângulo de inclinação predeterminado. Em instalações unifamiliares, este ângulo pode ser igual ao da latitude local. Nos sistemas termossifão, qualquer que seja a latitude, não deve ser utilizada uma inclinação inferior a 10°.

Nas montagens em telhados, a norma sugere a seguinte seqüência de operações:

- a) escolha da face adequada do telhado;
- b) localização das vigas específicas de apoio;
- c) medida e marcação dos pontos de apoio;
- d) fixação dos suportes ao vigamento;
- e) reparos na impermeabilização.

Ainda sobre a instalação a norma prescreve que os coletores devem ser instalados em locais não sujeitos à sombra durante 4h, antes e após ao meio-dia. Uma vez que a trajetória aparente do sol se modifica no decorrer das estações, cuidados devem ser tomados quanto ao aumento das sombras no inverno. Quando forem utilizadas várias baterias de coletores, deve ser assegurado que a bateria da frente não projete sombra na bateria posterior.

A vegetação deve ser selecionada e locada de forma a prevenir a indesejável redução de rendimento do coletor solar, devido ao sombreamento direto ou por deposição de materiais oriundos desta.

A localização e a orientação do coletor solar devem considerar os resíduos físicos e químicos transportados pelo ar, provenientes de incineradores e fábricas próximas, os quais têm influência sobre o rendimento do coletor solar.

Em projetos onde as superfícies dos coletores não estejam protegidas contra acumulação de poeira, devem ser tomadas medidas para permitir a limpeza destas superfícies, tão freqüente quanto necessário, para prevenir uma deterioração significativa do desempenho do coletor. Portanto, fica evidente que o acúmulo de sujeira sobre os coletores é um fator que influencia a performance desse sistema de aquecimento d'água.

Previsões devem ser feitas em todas as instalações para garantir drenagem adequada do coletor para não represar água de chuva.

Para corroborar com a Norma citamos DUFFIE e BECKMAN (1991), que apresentam alguns estudos sobre o assunto, entre eles dados relatados por DIETZ (1963) que mostram que com ângulos de incidência de 0 a 50%, o máximo de redução de transmissão das capas devido a poeira foi de 2,7%. Um outro experimento citado pelos autores foi realizado por HOTTEL e WOETZ (1942), a longo prazo em coletores na área de Boston, que descobriram que a performance do coletor diminui aproximadamente 1% devido à sujeira do vidro. E completando as citações, em um experimento de 30 dias sem chuva na Índia, GARG (1974) descobriu que a sujeira reduziu a transmissão em até 8% para vidro com 45° de inclinação.

A norma ainda ressalta a instalação do reservatório térmico e a instalação do sistema de circulação que foram apresentados nas figuras 1 e 2.

### 2.3 NBR-10184 – Coletores Solares Planos para Líquidos - Determinação do Rendimento Térmico

Na figura 3 temos a placa de um coletor solar plano à termossifão:

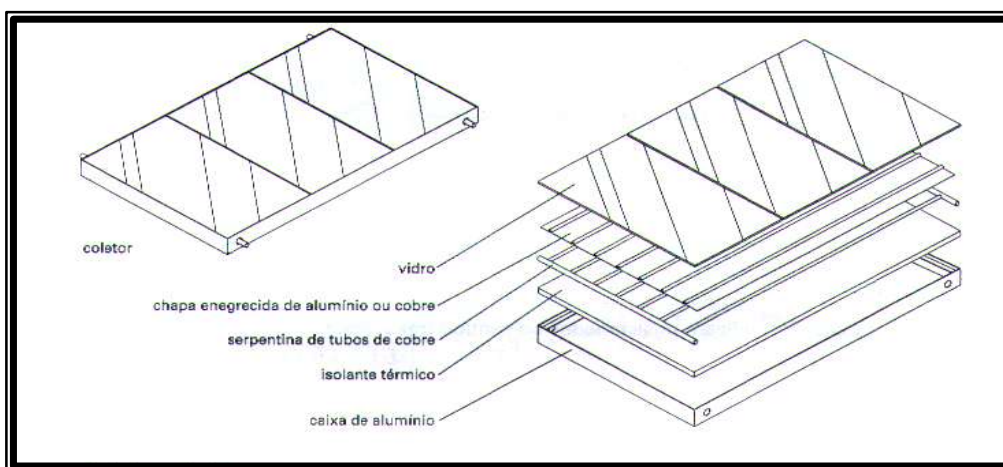


FIGURA 3: Isométrica do Coletor

Fonte: Manual de Aquecimento Solar - Transen

Conforme a ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), através da Norma Brasileira Registrada 10184, a descrição para coletores solares planos para líquidos e determinação do rendimento térmico é a seguinte:

- a) Coletor Solar: dispositivo que absorve a radiação solar incidente transferindo-a para um fluido de trabalho, sob a forma de energia térmica.
- b) Coletor Solar Plano: coletor solar cuja superfície absorvedora é essencialmente plana e onde a relação entre a área de abertura e a área do absorvedor é menor do que 1,1.
- c) Coletor Solar Concentrador: coletor solar que possui superfícies refletoras e refratoras destinadas a fazer convergir a radiação solar incidente na área de abertura sobre uma superfície absorvedora de área menor que a área de abertura.
- d) Fluido de Trabalho: meio pelo qual a energia térmica obtida na radiação solar é transmitida, a fim de ser encaminhada ao ponto de consumo ou armazenamento.
- e) Superfície Absorvedora: componente de um coletor solar que absorve a radiação solar e transfere a energia térmica para o fluido de trabalho.
- f) Área de Abertura: máxima área projetada do coletor solar através da qual a radiação solar não concentrada é admitida. Unidade:  $m^2$ ; Símbolo:  $A_a$ .
- g) Área do Absorvedor: área definida pelo perímetro externo da superfície absorvedora. Unidade:  $m^2$ ; Símbolo:  $A$ .
- h) Área total do coletor solar: Área definida pelo perímetro externo da parte superior do coletor solar. Unidade:  $m^2$ ; Símbolo:  $A_t$ .
- i) Área Mínima de ocupação: área ocupada pelo coletor solar quando instalado corretamente num sistema, calculada no plano do coletor solar. Unidade:  $m^2$ ; Símbolo:  $A_m$ .
- j) Fator de Ocupação: razão entre a área mínima de ocupação e a área do absorvedor.
- k) Regime quase permanente: termo usado para descrever a condição de operação de um coletor solar, onde a vazão e temperatura do fluido de trabalho na seção de entrada do coletor solar são quase constantes no decorrer do tempo, e as variações na temperatura do fluido de trabalho na seção de saída do coletor solar são devidas a pequenas variações no fluxo de radiação solar total.
- l) Rendimento térmico em regime quase permanente: quociente entre a energia transferida ao fluido de trabalho durante um certo intervalo de tempo e a energia

solar incidente no mesmo intervalo de tempo, multiplicada pela área do absorvedor, sob condições de regime quase permanente. Símbolo:  $n$ .

- m) Constante de tempo: intervalo de tempo necessário para que a temperatura do fluido de trabalho na seção de saída do coletor solar atinja 63,2% do seu valor de regime quase permanente, após uma variação tipo degrau ocorrida em apenas uma das seguintes variáveis:
  - n) fluxo de radiação solar total;
  - o) temperatura do fluido na seção de entrada do coletor solar;
  - p) vazão mássica do fluido de trabalho.
- q) Unidade: s; Símbolo:  $T$ .
- r) n) Fator de correção do ângulo de incidência: quociente entre os rendimentos térmicos para o coletor solar operando com radiação solar sob o ângulo de incidência considerado e com ângulo de incidência zero. Símbolo:  $k$ .
- s) o) Potência útil de um coletor solar: potência transferida ao fluido de trabalho sob a forma térmica. Unidade: W; Símbolo:  $0$ .

### 2.3.1 Considerações sobre coletores solares

Segundo DUFFIE e BECKMAM (1991) além da performance térmica dos coletores há várias outras considerações a serem feitas a respeito da utilização de coletores de energia solar.

A discussão é a respeito da fabricação e instalação de serviços manuais de coletores, posto que tais coletores devem ser desenhados para suportar altas temperaturas, sendo inevitável, no entanto, que em um certo momento haja falha de energia, problemas de controle ou outras causas que geram condições de baixo ou nenhum fluxo.

As temperaturas máximas das placas podem ser estimadas avaliando-se a temperatura do fluido, sendo que a temperatura do fluido e da placa são as mesmas para a condição sem fluxo.

Essas temperaturas de equilíbrio máximo causam restrições a determinados materiais, os quais devem reter suas importantes propriedades durante e após a exposição a essas temperaturas, de modo que o desenho mecânico deve acomodar a expansão térmica. Mas, as temperaturas baixas também devem ser consideradas em relação aos coletores de aquecimento líquido, no intuito de evitar o congelamento e posteriormente corrosão das placas.

O desenho mecânico afeta a performance térmica, motivo pelo qual é importante que a estrutura dos coletores seja adequada para suportar o manuseio, instalação e as condições estimadas durante a vida útil das unidades.

Em suma, a fabricação e utilização dos coletores devem levar em consideração não somente o aspecto econômico de sua instalação, mas também o aspecto arquitetônico, ou seja, sua viabilidade, segurança, o que deve ser feito já na elaboração do projeto em que se pretende fazer uso dos coletores.

Quanto ao uso de coletores em superfícies inclinadas é preciso ressaltar que é necessário analisar a direção na qual a radiação difusa é recebida, pois a sua distribuição depende das condições de nebulosidade e claridade atmosférica que são altamente variáveis. Em geral, não é possível calcular a quantidade da energia refletida em detalhes, em razão dos edifícios, árvores presentes em seu entorno. Isso vem causar a variação da incidência de radiação solar sobre as placas.

### **2.3.2 Coletores de placa plana**

DUFFIE e BECKMAN (1991) definem o coletor solar como um tipo especial de trocador de calor que transforma a energia radiante solar em calor. Segundo os autores um coletor solar se diferencia em diversos aspectos dos trocadores de calor mais convencionais. Esses realizam uma troca de fluido a fluido com altas taxas de transferência de calor e com radiação sem ser considerada um fator importante, enquanto que no coletor solar a transferência de energia é feita desde uma fonte distante de energia até um fluido.

Os coletores de placa plana podem ser desenhados para aplicações que requerem entrega de energia em temperaturas moderadas (até 100°C) acima da temperatura ambiente. Para isso são utilizadas tanto a radiação solar difusa quanto irradiação. Esses aparelhos são mecanicamente mais simples que os coletores concentradores e as maiores aplicações dessas unidades estão no aquecimento solar da água, no condicionamento do ar e no calor no processo industrial.

### **2.3.3 Considerações arquitetônicas**

Segundo DUFFIE e BECKMAN (1991) o aquecimento solar ativo representa um grande desafio para o desenho arquitetônico dos edifícios. Para os autores o desenho dos edifícios deveria ser feito com sistema de conservação de energia, pois a energia solar e os

demais combustíveis com os quais ela compete são caros.

O maior desafio reside em os arquitetos e engenheiros conseguirem integrar os coletores no desenho do edifício de tal modo que a sua performance térmica seja satisfatória, assim como a sua estrutura.

O coletor deve ser parte integrante do edifício ou separado dele. Sendo parte envolvente da casa, provavelmente se tornará uma característica arquitetônica importante ou dominante de sua estrutura, permitindo a redução de custo do telhado e a redução do custo do coletor. Já os coletores separados podem permitir maior flexibilidade no desenho da casa, permitindo, inclusive que os edifícios sejam mais convencionais. Em contrapartida os custos com instalação e manutenção do coletor acabam encarecendo a construção.

Quanto ao fornecimento de aquecimento solar a grandes edifícios é preciso salientar que é necessário considerar a montagem vertical dos coletores, o que pode causar uma significativa redução em suas performances. Outra opção é montar os coletores em toldos, mas o custo para sua instalação é bem mais alto.

Os estudos a respeito do aquecimento solar preocupam-se com os novos projetos que incluam os sistemas, pois adicionar sistemas de aquecimento em edifícios já existentes é ainda mais preocupante, uma vez que devem ser considerados os problemas apresentados nos desenhos que acomodam a adição de aquecimento solar após a construção.

## 2.4 Reservatório Térmico

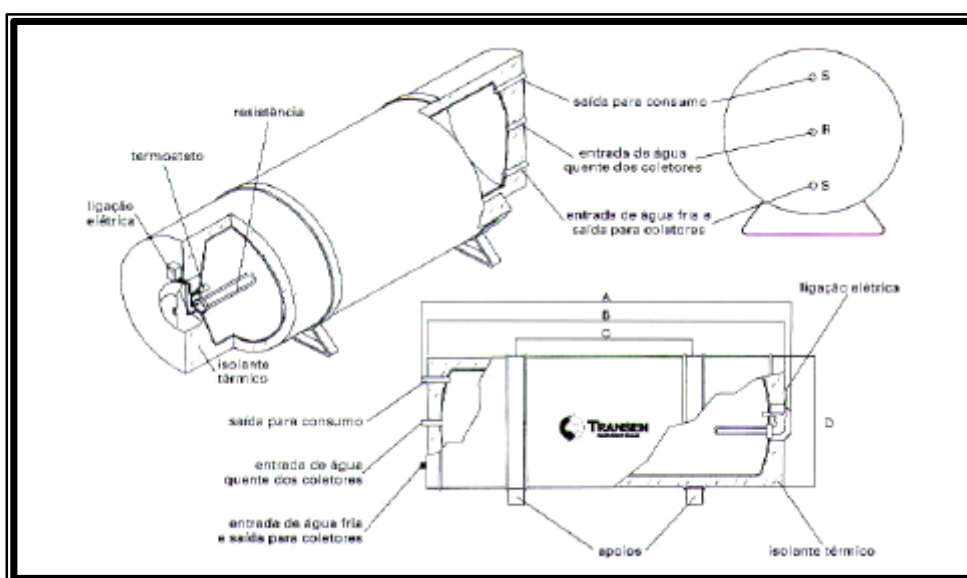


FIGURA 4: Reservatório Térmico

Fonte: Manual de Aquecimento Solar-Transen

O reservatório térmico, ou boiler aqui demonstrado na figura 4, é um componente do sistema de aquecimento d'água que se utiliza dos coletores solares planos, podendo ser empregado no sistema à termossifão ou circulação forçada.

O mesmo deve ser instalado em locais pré determinados, onde venham a atender às necessidades impostas pelo modelo de sistema a ser empregado, como por exemplo no caso do sistema à termossifão, em que o mesmo deve ficar abaixo do reservatório de água fria (caixa d'água) e a 10 cm acima da parte superior das placas coletoras, podendo também, ficar a céu aberto ou sob a cobertura da residência. Este modelo, para alguns casos, implica em que as placas coletoras acabem por ficar na parte mais baixa da cobertura, portanto suscetíveis a ação de sombreamentos, como podemos observar nas figuras.

O sistema de circulação forçada permite que o boiler fique instalado em níveis inferiores às placas coletoras, o que ocasiona em determinados projetos arquitetônicos um melhor posicionamento das placas.

Sua principal função é armazenar a água quente gerada no coletor solar, nos períodos de radiação solar, para posterior utilização, de forma a permitir o mínimo de perda de calor em períodos de pouca ou nenhuma radiação.

Por esta razão os reservatórios térmicos podem ser de dois tipos: os fechados ou pressurizados e os abertos ou não pressurizados.

Os principais componentes do boiler são:

- a) a entrada de água fria e saída para os coletores;
- b) saída para consumo;
- c) entrada de água quente dos coletores;
- d) sistema auxiliar de aquecimento (resistências elétricas) com a função de aquecer a água e suprir o sistema de energia em períodos de baixa insolação ou de excesso de consumo de água quente. Estas resistências podem ser controladas por um termostato automático que as aciona sempre que a temperatura da água, no interior do boiler, atinja índices abaixo do indicado para o consumo. Existem outros sistemas auxiliares que são colocados externamente ao reservatório, o sistema a gás e/ou elétrico, ambos de passagem ou acumulação;
- e) corpo interno: é o responsável pelo contato direto com a água aquecida, devendo apresentar excelente resistência à corrosão e resistência mecânica compatível com a pressão de trabalho, que no caso dos fechados ou pressurizados é acima da pressão atmosférica. Os materiais mais empregados na confecção são o aço inoxidável e o cobre;

- f) isolante térmico: é o responsável pela eficiência do reservatório em reter o calor em seu interior. A lã-de-vidro ainda é o isolamento mais utilizado;
- g) proteção externa: tem a função de proteger o isolamento térmico da umidade de danos na instalação e transporte e das intempéries. O aço inoxidável e o alumínio são os materiais mais amplamente empregados para esta proteção.

Para o bom funcionamento do sistema é importante que se faça um estudo cuidadoso da demanda necessária de água quente a ser utilizada. Tão importante quanto a metragem quadrada de coletores é a capacidade cúbica de armazenamento d'água. Para isso o mercado oferece desde 100 litros até 5000 litros, gerando, desta forma, uma grande possibilidade de alternativas ao usuário.

Para maiores informações a respeito do desempenho térmico das unidades de armazenamento pode ser avaliada utilizando a NBR 10185.

## **2.5 Energia Solar para Fins Domésticos**

As experiências visando a utilização da energia solar para diversos fins datam de tempos remotos. SABADY (1979) salienta que na história da humanidade os primeiros coletores solares de que se tem notícia foram construídos no ano 212 a.C., cuja façanha foi atribuída a Arquimedes, físico, matemático e prolífico inventor.

Fato relevante na utilização da energia solar é que os tanques de água quente deverão ser montados no telhado da casa. O autor ressalta um ponto importante, que é um sistema empreendido por uma empresa francesa, “no qual os tanques de armazenagem são projetados como fazendo parte do mobiliário de cozinha, onde tomam o seu lugar como fogões ou frigoríficos” (SABADY, 1979). Outro ponto relevante a considerar quando do projeto é o tamanho da casa, o número de pessoas, o nível de vida, ocupação das pessoas, idade, e principalmente, época do ano, pois o sistema tem que atender sua demanda, sem com isto baixar sua eficiência em função da declinação solar nos períodos mais frios, em que o sistema é mais exigido.

Embora o desempenho de um dado coletor de energia dependa muito de sua localização, nas regiões onde a maior parte do tempo a intensidade solar é adversamente afetada por nuvens, neblinas, e outros tipos de absorção atmosférica, o rendimento médio pode ser substancialmente inferior aos climas ensolarados; pode mesmo mostrar-se impraticável o uso do aquecimento solar durante parte do ano. No entanto, várias instalações de água quente solar, de construção suíça, provaram que mesmo em condições climáticas



adversas é possível utilizar energia solar. Em qualquer caso, o uso dos coletores solares exige um dimensionamento cuidadoso, levando em consideração pormenores das condições climáticas da região, demandando medidas precisas do perfil da intensidade solar durante dias, semanas e anos (SABADY, 1979).

Quando se fala em aquecimento de ambientes, SABADY (1979) lembra que as casas solares não são uma idéia nova. A primeira foi construída em 1939 nos EUA, pelo *Massachusetts Institute of Technology*, sob orientação de J. Hottel e B. Woertz, mostrando resultados interessantes. A partir da década de 60 a Europa também passa a explorar essa inovação, sendo que primeira casa solar européia foi construída em Odeillo, na França.

Nesse caso, para uso doméstico os coletores de energia solar se mostram eficientes em aquecimento de água, de piscinas e de ambientes.

## **2.6 Aplicações no Aquecimento de Água ou Ar**

Para McVEIGH (1977, p. 9) “a energia solar é de longe a fonte alternativa de energia mais atraente para o futuro, pois além das suas características não poluentes, a quantidade de energia disponível para conversão é equivalente a várias vezes o atual consumo energético mundial”.

A captação dessa energia tem como principal finalidade a produção de energia térmica, sobretudo para calefação doméstica. Para tanto, diferentes tipos de coletores têm sido construídos e testados por diferentes pesquisadores ao longo dos últimos anos. Os primeiros a desenvolver os trabalhos de investigação nessa área foram os Estados Unidos, Inglaterra, Austrália, África do Sul e Israel, tendo como objetivo testar as características dos coletores solares planos. Os testes foram realizados em regiões específicas, de acordo com os diferentes procedimentos e grandes diferenças de quantidade de radiação disponível, com o objetivo de converter tanta radiação quanto possível em calor e com um mínimo de investimento (McVEIGH, 1977).

Vale lembrar que o tratamento teórico simplificado estabelecido é ainda usado na base dos trabalhos e projetos de coletores planos para uso doméstico.

## **2.7 Coletor Solar Plano Utilizando Superfícies Seletivas e Tubos de Calor**

Existem várias formas de captar energia solar, mas é preciso cuidado quando da seleção de coletores, para não implicar em perdas térmicas que levam à diminuição na

conversão fototérmica. LIMA e BUENO (1991) abordam em seu trabalho a forma de captação de energia solar utilizando tubos de calor e revestimento seletivo, com objetivo de avaliar sua eficiência térmica.

Para os autores a utilização de tubos de calor e revestimento seletivo é o melhor dispositivo de transferir energia térmica, pois este dispositivo se constitui de um tubo ou uma câmara de diferentes formas cuja superfície interna é revestida de uma estrutura porosa. Melhor explicando,

esta estrutura porosa é saturada por um fluido de trabalho na fase líquida e o volume restante do tubo ou da câmara é ocupado pelo fluido de trabalho no estado de vapor. O calor aplicado ao evaporador do tubo de calor, vaporiza o fluido de trabalho que está contido nessa região. A diferença de pressão resultante dirige o vapor do evaporador para o condensador onde se dá a condensação liberando calor latente de vaporização, este princípio foi utilizado para aquecer a água (LIMA e BUENO, 1991, p. 03).

Esta estrutura mostra condições de aumentar a eficiência de um coletor solar sem aumentar seu custo, pois o revestimento poroso deverá diminuir todas as perdas térmicas e aumentar a capacidade de absorção das placas absorvedoras de calor.

Os autores descrevem o sistema de captação e armazenamento de energia solar da seguinte forma:

O coletor plano é formado por duas partes com funções e características distintas. A parte correspondente à absorção da energia solar, possui 1,0m<sup>2</sup> de área e a radiação solar é absorvida por placas de alumínio de 0,5mm de espessura e como revestimento seletivo uma película de sulfato de níquel (NiSO<sub>4</sub>) sobre as placas absorvedoras de energia são colocados cinco tubos de calor de 1,30m, construídos em cobre (LIMA e BUENO, 1991, p. 05).

Os tubos de calor foram construídos com 1,30m de comprimento, pois um metro de cada tubo fica sobre as superfícies absorvedoras de energia, enquanto o restante do tubo fica em contato com a água aquecida. “Esta água aquecida é bombeada por uma pequena bomba de 50 Watts de potência, para o reservatório de armazenamento e por gravidade, a água armazenada volta ao tanque onde se dá a troca de calor” (LIMA e BUENO, 1991, p. 05).

Este protótipo apresenta como principais vantagens em relação aos comercializados a diminuição da área utilizada, maior tempo de vida útil e a facilidade de manutenção.

## **2.8 Telha Coletora de Energia Solar de Cimento Amianto**

A preocupação com o aproveitamento da energia solar vem se desenvolvendo ao longo dos séculos, embora as técnicas na construção de coletores só tenham sido aprimoradas

nas últimas décadas do século XX.

O Brasil, dada a sua condição de país tropical, detém todas as condições para promover o desenvolvimento de um programa integrado configurado pela energia solar, no entanto, ainda hoje não há uma política explícita para sua utilização. Em decorrência dessa falta de política o país ficou prejudicado, pois faltou incentivo para desenvolver equipamentos adequados para a captação de energia solar. E ainda, não observamos uma preocupação por parte dos engenheiros e arquitetos “em relação à integração do coletor ao projeto arquitetônico das construções, além do mercado não oferecer muitas alternativas em modelos de coletores. (ALENCAR e SAGLIETTI, 1998)

Em consequência de todas as dificuldades que encontramos quanto à captação e utilização de energia solar no Brasil, os autores propõem a construção de um coletor a partir de materiais utilizados na construção civil, mais especificamente as telhas de cimento amianto, as quais serão adaptadas para que sejam utilizadas como cobertura na edificação e ao mesmo tempo coletor solar para aquecimento de água.

Essa proposta de ALENCAR e SAGLIETTI (1998) da construção de um coletor solar vem ao encontro das necessidades sentidas quanto à economia de escala, pois não se pode esquecer que no Brasil 60% da eletricidade consumida para aquecimento d’água se concentra no período das 18h às 21h (JANNUZZI, 1996).

Admitem os autores que na competição entre a eletricidade e a energia solar para aquecimento de água, até agora a primeira é favorecida devido ao custo de um chuveiro elétrico ser cinquenta vezes mais barato que o coletor solar convencional.

Assim, a construção de um coletor solar mais econômico seria vantajoso, pois possibilitaria ganho de escala econômica, além de conservar energia, trazendo benefícios ao usuário e ao meio ambiente.

Também, é importante ressaltarmos que ao longo dos últimos anos não foi veiculado aos projetos arquitetônicos a integração do coletor solar como elemento construtivo na engenharia, mas ALENCAR e SAGLIETTI (1998) admitem que esperam que o mesmo acabe por se tornar um produto capaz de ser utilizado nos mais variados padrões de construções, e para isso estão propondo esta alternativa prática, que é a construção de coletores solares usando como material a telha de cimento amianto.

## 2.9 Ação que Auxilia na Expansão do Aquecimento Solar

Segundo RODITI (1999) os sistemas de aquecimento solar são, via de regra, muito simples, contudo, pequenas falhas podem ocasionar problemas sérios, principalmente quando não detectadas de imediato.

Para que o usuário tenha a certeza de que seu sistema vai trabalhar corretamente é necessário o cumprimento das seguintes etapas: a) desenvolvimento de um método simples e preciso antes que a instalação seja construída; b) desenvolvimento de um equipamento de monitoração para comparar o desempenho real e o estimado pelo sistema; c) formação de um grupo de profissionais competentes; d) preparação de um contrato que esteja em harmonia com os códigos locais de obras, devidamente cumprido.

Salienta RODITI (1999) que o sistema térmico solar deve suprir uma quantidade mínima anual de energia para um dado consumo de água quente, pois do contrário o grupo responsável pela assistência técnica deve compensar o cliente. Nesse caso, um contrato de Garantia de Resultados Solares (GRS) é sempre estabelecido com referência a um dado consumo de água aquecida.

Para a instalação com GRS é necessário envolver duas partes: o cliente e o fiador (garantia), o qual pode avaliar a produção solar de qualquer maneira que seja aceitável ao cliente.

A instalação tipo GRS deve ser controlada durante o período de garantia (fase de verificação e confirmação), pois esta é a única maneira de conhecer a produção de energia na qual a garantia é baseada. O método mais simples é medir o consumo de água efetivamente aquecida pelo sol e calcular a energia suprida. Para garantir o desempenho com o mínimo de riscos, o fiador deve ser informado imediatamente a respeito de falhas para que eventuais reparos possam ser feitos rapidamente.

Em suma, o contrato GRS, para RODITI (1999), oferece quatro vantagens essenciais, quais sejam: ausência de riscos financeiros, facilidade para empréstimos bancários, fundos preferenciais e ausência de problemas freqüentes. Já, para transpor a barreira do alto investimento inicial a solução para os consumidores de água aquecida pode ser um financiamento, o que é muito comum nos dias atuais em virtude de seu vasto mercado.

## 2.10 Construindo Soluções Integradas

Em muitos países europeus as edificações respondem por cerca de 40% dos gastos gerais de energia (HESTNES,1999); devido ao aumento de construções, assim como o número de equipamentos novos e exigentes requisitos de conforto, esta fração tende a aumentar. No entanto, a discussão é a respeito dos sistemas de energia solar que vêm sendo muito usados pelas empresas de engenharia e construção. Salienta HESTNES (1999) que vários esforços vêm sendo despendidos para que estas empresas consigam desenvolver projetos arquitetônicos de edificações totalmente solares.

Segundo a autora “quando utilizamos métodos integrados de projeto, os sistemas de energia solar, naturalmente, fazem parte do projeto geral de uma edificação”. Explica ainda, que isto se dá devido à inclusão dos sistemas de energia solar como necessidade, objetivando a eficiência econômica do projeto. Os elementos solares devem ser considerados antes mesmo do projeto arquitetônico visando à máxima redução dos custos.

HESTNES (1999) cita vários projetos como exemplo. Um deles é o *Plan-les-Ouates*, construído ao leste de Genebra. Neste projeto o telhado foi projetado dentro da filosofia de integração. O telhado, que apresenta uma curvatura elegante, traz grande melhoria arquitetônica ao edifício, enquanto provê uma parte substancial de energia para aquecimento de água e de interiores, lembrando que a eficiência econômica não pode deixar de lado o aspecto estético, pois não basta atingir economia máxima sem que esta esteja aliada a estética do projeto.

Outra maneira de se conseguir a integração máxima é cobrindo toda a fachada com elementos solares, que é uma solução simples e também bastante econômica, embora os padrões internacionais de arquitetura determinem que se evite fachadas simples e homogêneas.

## 2.11 Projetos de Casas Solares

Para KIMURA (1999) o que importa é a arquitetura voltada ao aproveitamento da energia solar. Seu trabalho é voltado para a interceptação da radiação solar, buscando a conservação de energia, bem como a geometria de insolação que também são úteis para a interceptação e para o aproveitamento da energia solar.

Salienta o autor que a conservação de energia é um fundamento de primeira necessidade para satisfazer as necessidades humanas em um projeto arquitetônico, ou seja, o

uso da energia solar deve ter lugar de destaque nas práticas de conservação dessa mesma energia.

O interesse da arquitetura é voltado para as maneiras de aplicação de tecnologias nativas à arquitetura moderna, posto que a qualidade do ar interno e o conforto térmico são pontos de extrema relevância e que têm estreita relação com a parte energética das edificações.

Ao elaborar e desenvolver projetos de casas solares, KIMURA (1999) explica que sua própria casa, que foi completada em 1972, antes da crise do petróleo, foi objeto de pesquisa. Foram fabricados painéis coletores móveis de face plana, combinados com uma cobertura simples de vidro. O calor da água aquecida pelo sol é levado por uma pequena bomba para tubos embutidos na laje de concreto do porão, irradiando calor tanto para os andares inferiores quanto para os superiores, diminuindo consideravelmente, o consumo de energia.

O aquecimento global provocado pela queima de combustíveis fósseis tem sido a grande razão para o desenvolvimento de métodos alternativos de fontes renováveis de energia.

O conforto individual deve dar lugar ao conforto da coletividade, sem deixar de lado o bem estar das gerações futuras, tendo em vista a necessidade de poupar o uso de energia fóssil não renovável.

## **2.12 Design de Construções Passivas ao Recebimento da Luz Solar em Áreas Urbanas**

Para TOMBAZIS (2001) “desenhar um edifício ou um complexo de edifícios sobre uma área circunscrita em um ambiente urbano existente pode ser muito diferente de se desenhar um estabelecimento sobre um terreno aberto, o qual permite ao arquiteto planejar e orientar os edifícios bastante livremente”.

Observa o autor que apesar de vários estudos sobre layout urbano a maioria dos trabalhos de projeto nas cidades está restrita a uma área circunscrita bastante pequena, onde as principais opções arquitetônicas estão pré-determinadas e a área de chão está para ser maximizada. A maior dificuldade apresentada com tais áreas urbanas inclui o uso de edifício, a obstrução de outros edifícios, adjacências, orientação e dimensões da fachada principal, a área a ser construída, além de dificuldades ambientais relacionadas à permeabilidade do alicerce do edifício.

Os edifícios são considerados como sendo estáticos, sendo que os arquitetos freqüentemente desenham-nos a partir de um ponto de vista estético e de espaço funcional.

Este método não é apenas limitado em termos de eficiência e de condições de conforto, mas é também contra o mais fundamental princípio da arquitetura, ou seja, a função, a qual entende que a construção em si deve oferecer conforto além de conservar intacto o meio ambiente.

De acordo com este entendimento, ressalta TOMBAZIS (2001) que, os edifícios devem ser considerados e desenhados como organismos vivos suscetíveis de se adaptarem às mudanças ambientais, culminando com a construção de cidades com mais vida.

O autor em questão ressalta que o controle é uma questão crucial para um edifício que quer cumprir com seu propósito, pois um método de design dinâmico dará a ele a possibilidade de controlar-se através de meios passivos, ou seja, modificar-se para adaptar-se às condições de mudança.

A primeira ferramenta da modificação de clima no ambiente urbano é a parte externa do edifício, a qual pode somente transmitir a luz do sol, radiação solar direta e ar fresco, incidente no edifício. Dessa maneira pode ser adaptada ao clima, ao local e também ser integrada ao projeto arquitetônico geral do edifício.

No que tange especialmente aos edifícios comerciais, a luz do sol ampla, sombreamento adaptável, proteção contra barulho e poluição do ar podem se tornar importantes fatores no projeto, tendo as fachadas duplas um importante papel. No entanto, estas devem ser cuidadosamente planejadas e modeladas.

TOMBAZIS (2001) cita três exemplos de edifícios comerciais que sugerem a possível diversidade arquitetônica das soluções bioclimáticas funcionais nas condições do design urbano, quais sejam: O complexo de edifícios comerciais no noroeste de Atenas (escritório dos arquitetos), o GEK – Edifício comercial Psyktiki Ellados, localizado no centro de Atenas e, por fim a matriz da construtora Avax, também em Atenas.

Analisando os exemplos acima, conclui o autor que em todos os três casos o design de ferramentas e tecnologias para a economia de energia foi aplicado ao seu máximo, pois foram desenhados para utilizar o mínimo possível de energia fornecendo as melhores condições de conforto possíveis.

Salienta que com respeito às similaridades e diferenças entre os exemplos citados, os projetos dependem especificamente do terreno, do ambiente urbano, das obstruções, etc., sendo que estes deverão estar integrados desde o início do projeto, onde estratégias passivas para a obtenção da luz do sol se tornam mais uma parte inerente da arquitetura do que uma parte adicional desta.

### 2.13 Performance Térmica de Sistemas Solares Combinados com Diferentes Eficiências de Coletor

Normalmente os custos do coletor estão relacionados à eficiência sob altas temperaturas operacionais. Para HENDEN et al. (2002) os sistemas solares convencionais operam com alta temperatura, que é muito superior a que é solicitada pelo usuário, 50°C para a preparação da água quente doméstica (*domestic hot water* - DHW). Os sistemas solares com radiador requerem uma temperatura de aproximadamente 30-50°C acima da temperatura do espaço desejado para transferir a energia necessária. Já nos sistemas de aquecimento com baixas temperaturas, a temperatura de distribuição de calor pode ser reduzida até aproximadamente 5-7°C acima da temperatura do ambiente, podendo aumentar o ganho solar dos coletores e prolongar a variação térmica na utilização do armazenamento intermediário.

Para estes autores a principal barreira à introdução em larga escala de sistemas solares térmicos é o seu alto custo, comparado aos sistemas de aquecimento convencionais, pois, sistemas solares para a preparação de água quente doméstica requerem áreas de coletor entre 3-5 m<sup>2</sup>, para uma casa típica de uma única família.

Segundo os autores é importante comparar a importância dos sistemas solares, pois o ganho solar possibilita o embasamento da avaliação do retorno financeiro do investimento no sistema de aquecimento completo e na eficiência do coletor.

Analisando a performance térmica de diferentes projetos de sistemas combinados, os autores concluem que o coletor teve eficiência moderada para o sistema de distribuição de calor, seja ele baseado em alta ou em baixa distribuição de temperatura.

### 2.14 Energia Solar no Brasil

A crise da energia elétrica afetou a vida da população brasileira, impondo restrições e ao mesmo tempo criando consciência contra o desperdício e a ineficiência. O aquecimento solar de água é atualmente a melhor alternativa tecnológica para a produção de água quente. De acordo com a segunda lei da termodinâmica, que mensura a adequação da fonte energética à demanda, o uso de aquecedores solares de água é uma das maneiras mais eficientes de se produzir água quente.

O equipamento, no entanto, continua sendo de pouco acesso aos segmentos menos abastados da população brasileira, a despeito do excelente clima para o seu uso no Brasil. Vale destacar que o que eleva o custo do aquecedor solar é o uso de materiais nobres para



resistir à ação do sol e às altas temperaturas (usualmente até 70°C). No entanto, estudos recentes de outras formas de construir coletores solares com materiais de baixo custo poderão levar a população brasileira a optar pela energia solar para usos domésticos. MESQUITA et al (1996) acredita que “o aquecimento solar tem totais condições de se tornar a opção brasileira de aquecimento de água: custos competitivos, tecnologia própria e uma imensa riqueza energética através de uma fonte inesgotável – o sol”.

Assim, com base em todos os projetos para construção de coletores solares que vêm sendo realizados, principalmente nas universidades brasileiras, esperamos que o Brasil no futuro utilize em larga escala a energia solar.

Tendo como base os trabalhos elaborados na PUC-MG, capturados em 18/08/2001<sup>1</sup>, apresenta-se a seguir as conclusões resultantes desses estudos.

#### **2.14.1 Programa Brasileiro de Etiquetagem de Coletores Solares Planos INMETRO/ABRAVA**

Com a crescente procura por energia solar, no decorrer do tempo, constatou-se que não se conhecia a relação entre durabilidade e eficiência dos coletores solares fabricados no Brasil. Face a esse problema sentiu-se a necessidade da criação de um “programa” que possibilitasse a avaliação dos aspectos essenciais de um coletor solar. Foi então criada uma etiqueta do INMETRO estabelecendo uma forma de comparação e verificação dos coletores solares disponíveis no mercado brasileiro. Assim, nasceu o “Programa Brasileiro de Etiquetagem de Coletores Solares Planos INMETRO / ABRAVA, resultante do esforço conjunto do governo brasileiro, representado pelo Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – INMETRO, PUC – Minas e ABRAVA” (op.cit).

Então, a partir desse programa observou-se melhoria na qualidade dos produtos disponíveis no mercado brasileiro, pois segundo os estudos elaborados pela PUC – Minas “os resultados obtidos no programa de certificação darão oportunidade aos fabricantes de avaliarem de forma quantitativa os efeitos do desgaste e envelhecimento natural na eficiência de seus equipamentos”.

Assim, com os testes, o coletor deve apresentar a etiqueta do INMETRO com suas

---

<sup>1</sup> Disponível em: [http://www.green.pucminas.br/etiqueta\\_Res.htm](http://www.green.pucminas.br/etiqueta_Res.htm) em 18/8/2001.

especificações técnicas, logo dando ao consumidor maior confiabilidade na hora de adquirir um coletor de energia solar.

### 3 METODOLOGIA

Como estamos tratando de sistemas de energia solar que utilizam coletores solares planos para aquecimento da água à termossifão e circulação forçada, entendemos que seria relevante termos em mãos uma listagem das indústrias fabricantes destes sistemas no Brasil. Assim, pode-se verificar a região que mais se destaca na produção, e qual padrão de modelo é o mais fabricado e quais seus componentes.

Para esta etapa da pesquisa determinamos que faríamos um rastreamento das empresas, procurando-as em revistas voltadas à construção civil e arquitetura, propaganda em jornais, listas telefônicas e Internet.

Acessamos, também, o site da ABRAVA, onde foi possível encontrar mais uma série de empresas que eram filiadas à mesma. Junto ao INMETRO encontramos as empresas que já tinham o selo-certificado de qualidade.

Quando não nos foi possível obter os dados necessários, via informativo ou Internet, procuramos fazer contato telefônico com representantes das indústrias, justificando nosso trabalho e solicitando material publicitário e técnico dos produtos por estas fabricados. Na quase totalidade dos casos fomos atendidos prontamente.

Para a segunda parte da pesquisa executamos um levantamento em campo, onde foi possível local residências que apresentassem instalações de sistemas de energia solar que utilizassem coletores solares planos para aquecimento de água, e que estes, em consequência de sua instalação, apresentassem situações inadequadas segundo condições exigíveis, ou recomendáveis, apresentadas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas e manuais técnicos fornecidos pelos fabricantes.

O nosso trabalho de campo dividiu-se em duas áreas distintas, a primeira na cidade de Campo Mourão – PR, e a segunda, em cidades vizinhas a Campo Mourão, sempre sobre o mesmo enfoque.

#### 4 RESULTADO DA PESQUISA DE CAMPO EM CAMPO MOURÃO E CIDADES VIZINHAS

Antes de determinarmos a área a ser pesquisada fizemos um levantamento prévio em Campo Mourão – PR, verificando onde esta apresentava um número significativo de sistemas instalados e que viesse corresponder às nossas expectativas. Após visitas em vários bairros, selecionamos um que continha um número significativo de residências com situações pertinentes à nossa pesquisa.

A cidade piloto para o desenvolvimento do nosso trabalho está situada em um município do estado do Paraná. Geograficamente esse estado está localizado na Região Sul do Brasil (figura 5), com 399 municípios, tendo uma área de 199.554 quilômetros quadrados, o que equivale a 2,3% da superfície do país. O estado apresenta três tipos de clima, que são definidos principalmente pela localização do mesmo, bem como as temperaturas e os ciclos de chuva. No litoral predomina o clima tropical super-úmido, sem estação seca. Nas regiões norte, oeste e sudoeste predomina o clima subtropical úmido mesotérmico, com verões quentes, sem estação seca, com poucas geadas. Na região de Curitiba, nos campos gerais e sul, o verão é brando, sem estações secas e ocorrem geadas severas. A temperatura média do estado é de 18,5° C.



FIGURA 5: Mapa Político Brasileiro, em destaque o estado do PR.

Fonte: Carta Internacional Milionésimo

Campo Mourão está localizada no centro oeste do Paraná, na latitude  $24^{\circ}, 05'S$  e longitude  $52^{\circ}, 27'W$ .

Para uma melhor visualização da localização da cidade e a área de pesquisa optamos por apresentá-la a partir do mapa do Brasil. Neste mapa evidenciamos o estado do Paraná (figura 5), onde verificamos que este é cortado pela linha do Trópico do Capricórnio.

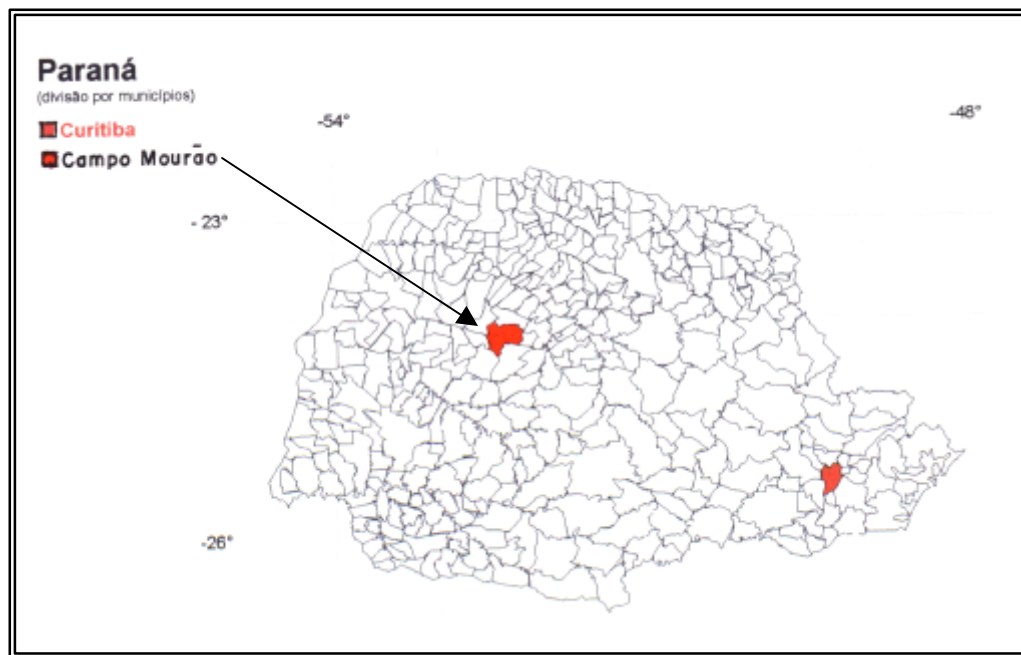


FIGURA 6: Mapa Político do Paraná evidenciando os municípios de Campo Mourão e Curitiba.

Fonte: Carta Internacional Milionésimo

Na figura (6) temos o estado do Paraná, em que localizamos o município de Campo Mourão; a figura (7) representa a malha do perímetro urbano, evidenciando a área pré-determinada para o estudo proposto. A razão que nos levou a determinação dessa área foi um estudo prévio do perímetro urbano, sendo que ficou evidente um número significativo de residências com o sistema implantado e por ser um bairro considerado de médio a alto padrão de poder aquisitivo.

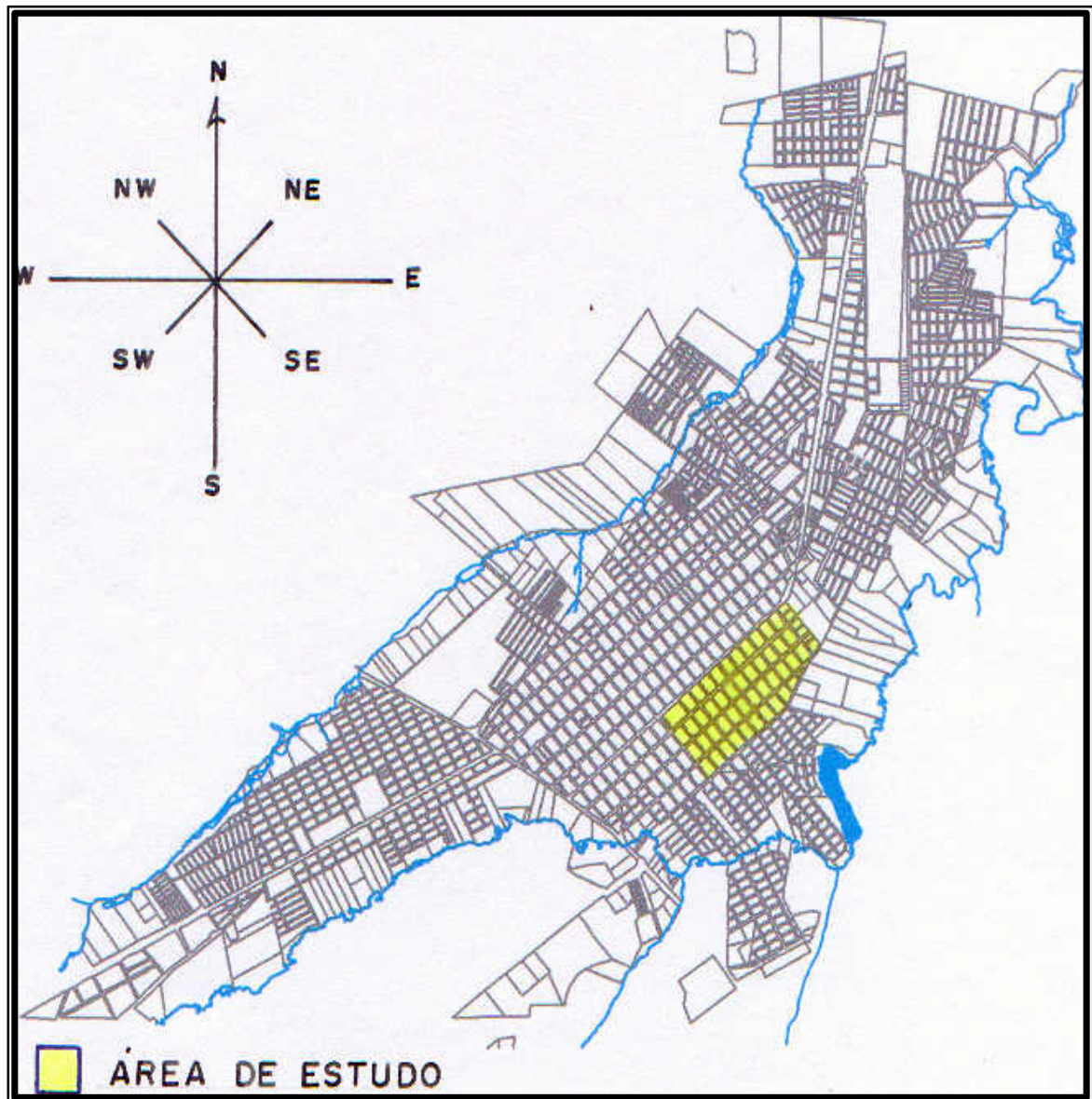


FIGURA 7: Mapa da malha urbana de Campo Mourão

Fonte: Prefeitura Municipal de Campo Mourão – Secretaria de Planejamento Urbano

Uma vez determinada a área de atuação, estudamos a forma mais adequada de realizá-la; a figura (8) é uma ampliação do setor, onde podemos observar que as avenidas e ruas são perpendiculares entre si e estão no rumo NE/SE respectivamente. Dessa forma, resolvemos percorrer primeiro as avenidas no sentido NE/SW, para posteriormente percorrermos as ruas no sentido NW/SE. Esse sentido se justifica pois estaríamos sempre caminhando do quadrante norte para o sul. Necessitamos também de uma bússola para aferição dos rumos magnéticos, de uma máquina fotográfica, para registrar o sistema de aquecedor instalado e do croqui da área para nele localizar as residências em planta. Um outro item relevante foi a determinação do horário para executar a visita, sendo que

deveríamos fazê-lo sempre próximo às 12 horas, horário esse em que o sol estaria no seu ponto mais elevado, o que nos daria a margem de projeção nos dois sentidos, seja manhã e tarde.

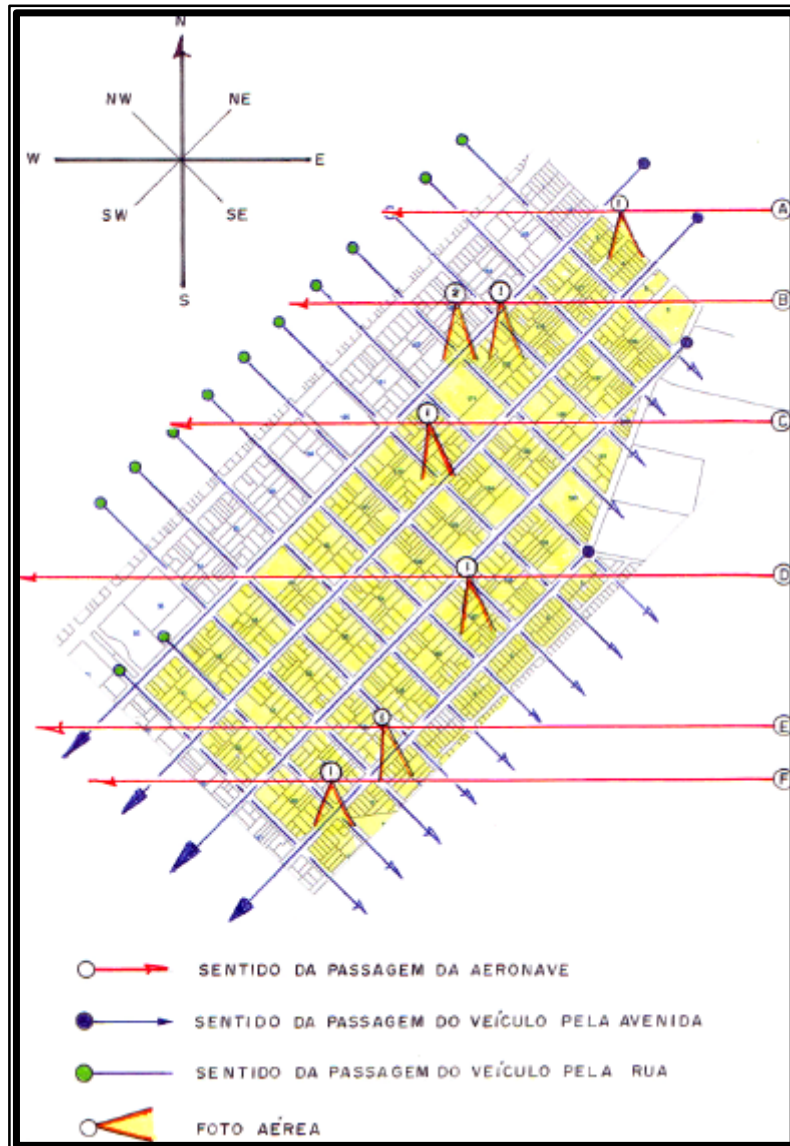


FIGURA 8: Mapa de Campo Mourão, área de estudo

Fonte: Prefeitura Municipal de Campo Mourão – Secretaria de Planejamento Urbano

Para determinação do rumo correto dos coletores com relação ao norte verdadeiro é necessário observarmos a seguinte situação: se o posicionamento do coletor for aferido com o auxílio de uma bússola, ou um teodolito, esta nos dará o norte magnético, portanto, devemos saber qual é a declinação magnética que existe para as coordenadas locais, para que com estas possamos determinar o norte geográfico.

Nesse momento é necessário tecermos algumas considerações a respeito do norte geográfico. KOCZICKI (1996) descreve essa situação da seguinte maneira: o Meridiano Geográfico (MG) de um lugar corresponde ao plano que passa por este ponto e pelos pólos geográficos da Terra. Meridiano Magnético (MM) de um lugar corresponde ao plano que passa pelo eixo longitudinal de uma agulha magnética em posição de equilíbrio.

Em geral, o MM e o MG de um lugar não coincidem, formando entre si uma diferença angular chamada declinação magnética.

Essa diferença pode aumentar até um certo limite para oeste (O), e retroceder em seguida para leste (E) até um certo limite. Isso quer dizer que o rumo lido em uma determinada linha, numa localidade e data, varia com o tempo. Por isso, quando se têm os rumos magnéticos lidos em época muito remota e há necessidade de se restabelecerem os alinhamentos e ângulos marcados naquela época, precisa-se reconstituí-los para os dias de hoje. Esse trabalho chama-se aviventação de rumos (Op. Cit., 17).

A declinação não é igual para todos os pontos da Terra nem mesmo é constante em um mesmo lugar. As variações podem ser diárias, mensais, anuais e seculares. Existem pontos que possuem a mesma variação anual de declinação.

As linhas que ligam pontos de mesma variação anual de declinação constituem as chamadas cartas isopóricas e as que ligam pontos de mesma declinação são chamadas de cartas isogônicas. Já a linha que liga os pontos onde o meridiano verdadeiro coincide com o magnético é chamada de agônica.

As cartas isogônicas e isopóricas fornecidas pelos anuários dos Observatórios Astronômicos nos permitem determinar a declinação magnética para uma determinada localidade, desde que se conheçam as coordenadas do lugar.

Ainda sobre o assunto encontramos a afirmação de ESPARTEL (1978:64): o meridiano magnético e o meridiano astronômico ou geográfico formam entre si um ângulo variável que tem o nome de declinação magnética. Quando o meridiano magnético fica à direita do meridiano verdadeiro, a declinação é oriental; quando fica à esquerda é ocidental. Em uma mesma localidade a agulha magnética não aponta constantemente para uma direção determinada; a direção da agulha sofre variações que são denominadas variações de declinação. Essas variações podem ser classificadas segundo os períodos de tempo que são considerados. Assim, denominam-se variações secular, anual, mensal e diária.

O motivo pelo qual devemos saber o grau de declinação local é que o sistema de coletores depende de uma correta instalação com relação ao Norte Verdadeiro para que possa



obter sua máxima eficiência. Se não nos atermos a estes desvios poderemos correr o risco de instalá-los em ângulos acima dos permitidos pela NBR, ou seja, 15°.

Em função das avenidas estarem dispostas no rumo 50° NE/SW, surgiram os primeiros obstáculos, pois apenas o lado esquerdo das mesmas teriam sua testadas voltadas ao norte evidenciando seus coletores, enquanto a face direita estaria voltada ao sul, o que descartaria a presença dos mesmos, portanto, dificultando sua visualização e análise. Uma situação semelhante acabaria ocorrendo com relação às ruas, pois as mesmas estando no rumo 40° NW/SE, apenas o lado direito estaria evidenciando seus coletores, e isto acabaria por reduzir em 50% a área de estudo.

Para concretizarmos essa etapa optamos pela realização de um voo sobre a área determinada para o estudo, e para que obtivéssemos um resultado positivo elaboramos junto ao piloto da aeronave um plano de voo. As condições para que o mesmo acontecesse dependeriam de um dia claro, ensolarado e sem nuvens, pois a presença das mesmas causaria sombreamento o que comprometeria as fotografias. O horário deveria ficar entre às 11h 30min e 12h30min, pois nesse período o sol está no seu ponto mais elevado, sendo que a aeronave seria posicionada com o observador no mesmo ângulo de incidência do raio projetante do sol sobre as residências. Isso significa dizer que se não for possível visualizar os coletores nas fotos aéreas durante o período em que o sol está em seu zênite, os mesmos estão instalados em áreas sombreadas ou inadequadamente.

#### **4.1 Etapas para Análise**

Para a análise de cada caso, apresentadas no capítulo 5, enfocamos as situações que influenciam para baixa performance de sistemas de energia solar que utilizam coletores solares planos, assim, procuramos classificá-los dentro de três temas que nos auxiliarão para uma conclusão final:

- a) orientação, inclinação e localização dos coletores fora das recomendações das NBRs e fabricantes;
- b) sombras nos coletores provocadas pela vegetação próxima ou novas edificações;
- c) acúmulo de sujeira sobre o vidro dos coletores, geralmente causado pela falta de manutenção em períodos mais regulares.

A metodologia que utilizamos para as análises dos casos abordados seguiu a seguinte ordem:

### **4.1.1 Inventário do local**

#### **4.1.1.1 Levantamento fotográfico**

Tem como objetivo retratar a situação em que se encontra o coletor instalado na edificação.

### **4.1.2 Croqui do local**

#### **4.1.2.1 Situação esquemática**

A situação esquemática consiste em determinar a localização da edificação no terreno; o posicionamento da cobertura, com relação a queda das águas; a quantidade e o posicionamento das placas coletoras sobre o telhado; a localização da vegetação existente no entorno imediato; o posicionamento do observador no momento em que foram tiradas as fotos e o posicionamento do terreno com relação ao norte geográfico.

#### **4.1.2.2 Vista lateral**

Mostra em perfil o posicionamento dos coletores na cobertura e sobre estes a incidência da radiação solar nos períodos de 21 de dezembro (solstício de verão) 21 de março e setembro (equinócios) e 21 de junho (solstício de inverno), no horário das 12h30min, e também o perfil da vegetação existente, para demonstrar o possível sombreamento sobre as placas coletoras, em função do movimento aparente do sol.

### **4.1.3 Análise dos casos**

#### **4.1.3.1 Programa Radasol desenvolvido pelo Laboratório de Energia Solar (GESTE-PROMEC da UFRGS)**

O programa Radasol nos permite, através de gráficos e planilhas, fazer leituras da radiação solar nos vários períodos do dia, compreendidos entre o nascer e o pôr do sol, nos vários dias do mês, nos vários meses do ano, fornecendo ainda médias mensais e anuais do total diário em kWh/m<sup>2</sup>. Para obtenção destes dados basta informar ao programa o nome do

país e da cidade desejada; com estes dados o programa informa a latitude e longitude local. Com os dados referentes ao sistema instalado, tais como ângulo de inclinação do coletor e desvio azimutal norte, ele nos permite determinar todos os índices desejados para a situação atual. Para os nossos estudos analisaremos de forma paralela sobre as condições atual e ideal, fazendo uma análise quanto ao rendimento para os períodos mais significativos do ano sejam 21 de dezembro (solstício de verão), 21 de março e setembro (equinócio) e 21 de junho (solstício inverno). As leituras foram realizadas às 12h30min, pois é o período em que apresenta os índices mais elevados do dia e ficando fácil sua comparação.

Ainda nesta planilha apresentamos em forma numérica e em gráficos as duas médias anuais em kWh/m<sup>2</sup>.

Para que tivéssemos um parâmetro comparativo entre a situação atual dos coletores e a situação ideal realizamos vários estudos no programa Radasol, determinando, assim, a situação que apresentasse melhor desempenho do sistema para o local de estudo, onde a latitude é 24° 05'S e a longitude é 52° 27W. O ângulo de inclinação deverá estar a 35° e o desvio azimutal do norte a 0°. Embora essa situação não apresenta a melhor média anual em kWh/m<sup>2</sup>, ela apresenta a melhor média para o período de 21 de junho, no inverno, período esse que o sistema é mais exigido.

Com estes referenciais estabelecemos que as leituras deveriam ser feitas em três períodos: nos dias 21 de dezembro – solstício de verão; 21 de março – equinócio e 21 de junho – solstício de inverno, sempre às 12h30. Dessa maneira poderíamos obter as médias diárias e a média anual em kWh/m<sup>2</sup>.

#### 4.1.3.2 Planilha de incidência solar e sombreamento

Será feita quando for pertinente à situação abordada. Essa planilha foi elaborada para determinar a porcentagem diária de incidência solar ou sombreamento sobre os coletores em um período de 8h/dia, nos meses em que ocorrem as mudanças significativas do movimento aparente do sol: solstício de verão (dezembro), equinócios (março e setembro) e solstício de inverno (junho). Uma outra razão para estas considerações é o fato de estarmos estudando a eficiência de um sistema que depende da máxima exposição aos raios solares, não se justificando situações de sombreamentos, situações estas que podem levar a uma paralisação total do sistema, dependendo da sua porcentagem. Para as determinações dos períodos e preenchimento das planilhas foram realizados monitoramentos “in loco” e estudos de projeções referenciados nos croquis, anexo a cada caso.

#### **4.1.4 Conclusão dos dados**

A conclusão será feita sempre com o objetivo de determinar as principais causas que influenciam a baixa performance do sistema de aquecimento d'água com coletores solares planos.

## 5 ANÁLISES

### 5.1 Resultados da Pesquisa de Campo

Após desenvolvermos toda a metodologia, ao longo de alguns meses tínhamos em mãos um total de 34 indústrias que estão distribuídas da seguinte maneira, como podemos verificar no gráfico abaixo:

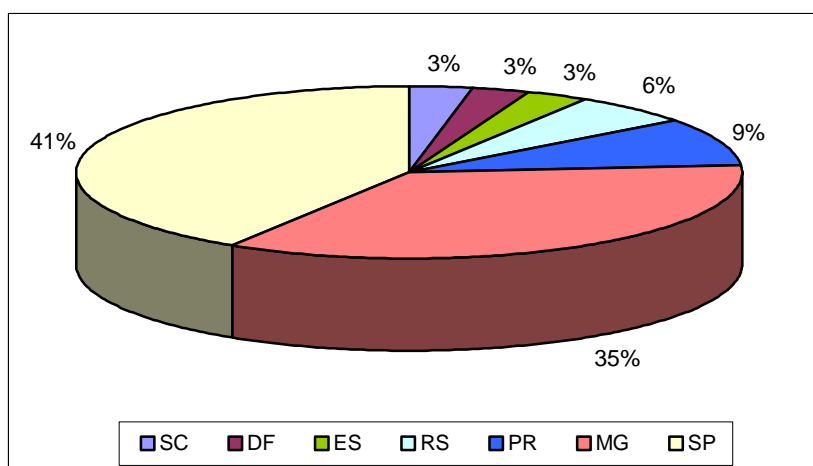


FIGURA 9: Indústrias Nacionais de Coletores Solares Planos distribuídas por estados

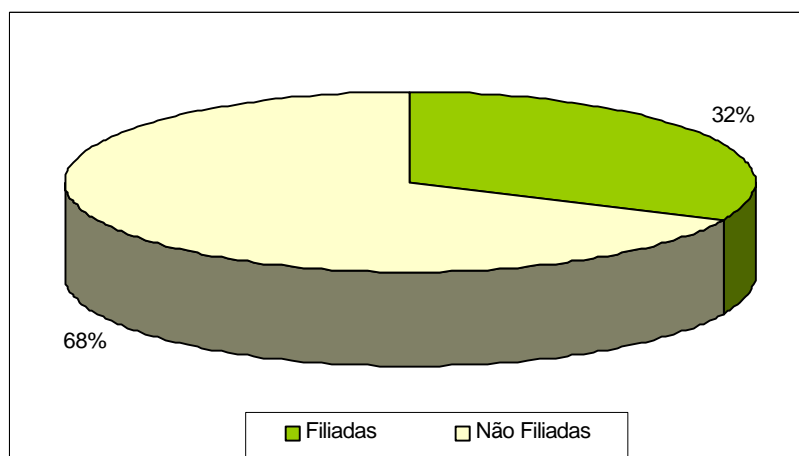


FIGURA 10: Indústrias Nacionais filiadas a ABRAVA

Relação nominal das empresas localizadas e seus respectivos endereços:

Astrosol – [www.astrosol.com.br](http://www.astrosol.com.br)

Aquasolis – [www.aquasolis.com.br](http://www.aquasolis.com.br)

Alternativa Solar – [www.alternativasolar.com.br](http://www.alternativasolar.com.br)  
Art Sol – [www.artsol.com.br](http://www.artsol.com.br)  
Alo Solar – [www.alosolar.com.br](http://www.alosolar.com.br)  
ARKSOL – [www.arksol.com.br](http://www.arksol.com.br)  
Brasol – [www.brasol.com.br](http://www.brasol.com.br)  
Cumulus – [www.cumulus.com.br](http://www.cumulus.com.br)  
Colsol – [www.colsol.com.br](http://www.colsol.com.br)  
Enalter – [www.enaltar.com.br](http://www.enaltar.com.br)  
Engesol – e-mail: [adm@engesol.com.br](mailto:adm@engesol.com.br)  
Fhortsol – fone: (44) 531-1981  
Heliotek – [www.heliotek.com.br](http://www.heliotek.com.br)  
Humasi – e-mail: [humasi@artnet.com.br](mailto:humasi@artnet.com.br)  
Hidrosol – fone: (31) 773-5041  
Idesol – e-mail: [idesol@idesol.com.br](mailto:idesol@idesol.com.br)  
JMS – [www.jmsaquecimento.com.br](http://www.jmsaquecimento.com.br)  
Maq Sol – [www.maqsol.ind.br](http://www.maqsol.ind.br)  
Norden – e-mail: [norden@norden.com.br](mailto:norden@norden.com.br)  
Polisol – [www.polisol.com.br](http://www.polisol.com.br)  
Pantho – [www.pantho.com.br](http://www.pantho.com.br)  
Solar Rio – [www.solar-rio.com.br/aquecedores](http://www.solar-rio.com.br/aquecedores)  
Solar Star – fone: (35) 3713-1908  
Solar Camp – [www.solarcamp.com.br](http://www.solarcamp.com.br)  
Solarsol – [www.solarsol.com.br](http://www.solarsol.com.br)  
Solagua – e-mail: [solagua@solagua.ind.br](mailto:solagua@solagua.ind.br)  
Solares – [www.solares-online.com.br](http://www.solares-online.com.br)  
Soletrol – [www.soletrol.com.br](http://www.soletrol.com.br)  
Transen – [www.transen.com.br](http://www.transen.com.br)  
Tecnosol – [www.plastico.com.br/revista](http://www.plastico.com.br/revista)  
Termosul – [www.termosul.hpg.ig.com.br](http://www.termosul.hpg.ig.com.br)  
Thermotini – e-mail: [thermotini@thermotini.com.br](mailto:thermotini@thermotini.com.br)  
Tuma – [www.tuma.com.br](http://www.tuma.com.br)  
UNIPAC – fone: (11) 4193-2326

Através do nosso levantamento foi possível identificar que das 34 empresas relacionadas, 32% são filiadas à ABRAVA e 26% tem o selo de Certificação do INMETRO, figuras 6 e 7.

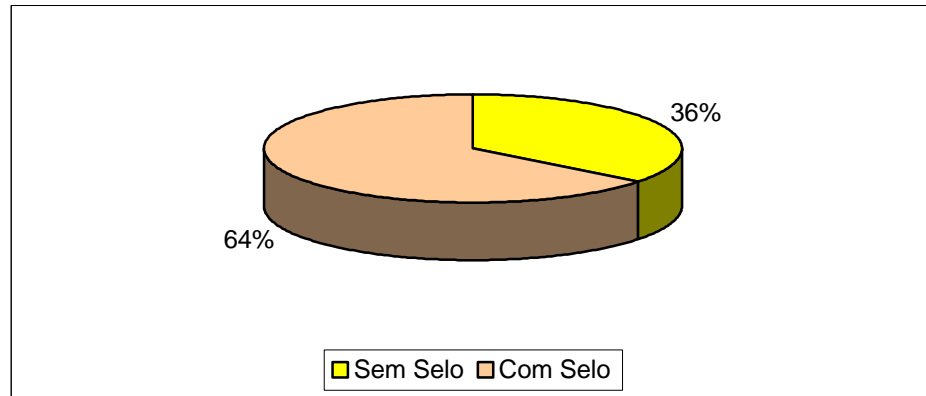


FIGURA 11: Indústrias Nacionais com o selo do INMETRO

Uma vez de posse dos dados fornecidos pelos catálogos, “folders”, manuais de instalação, foi possível selecionar alguns dados e constatar que no perfil do coletor solar plano à termossifão e circulação forçada predomina o uso dos seguintes materiais:

- a) cobertura do coletor: vidro liso de 3 ou 4mm.
- b) Vedação: silicone.
- c) Chapa absorvedora: alumínio ou cobre.
- d) Serpentina: alumínio ou cobre.
- e) Isolamento Térmico: lã de vidro.
- f) Estrutura da caixa: alumínio.

Quanto a área externa, os mesmos variam de  $1\text{m}^2$  a  $4,92\text{m}^2$ . Isso demonstra que a placa de aquecedor solar, assim como os “boilers”, em sua capacidade de armazenamento, encontram-se de vários tamanhos, possibilitando várias associações, atendendo, dessa forma, as mais variadas necessidades dos usuários.

O que fica evidente é que os sistemas nacionais, segundo especificações dos próprios fabricantes, já atingem a eficiência que é até de 60,7%, segundo o INMETRO.

Somente algumas empresas fornecem, em seus materiais publicitários, informações referentes a garantia de seus produtos. Essa garantia varia de 2 à 10 anos. Isso evidencia que parte das empresas fabricantes não passam todas as informações que poderiam ser importantes aos usuários.

Na etapa de trabalho de campo observamos que a presença significativa da vegetação existente nos passeios, ao longo das avenidas e ruas e nos próprios terrenos, nos obrigou a apurar o senso de observação para que não deixássemos escapar sistemas que em alguns casos estavam ocultos em meio à vegetação, como demonstraremos nos estudos das análises. A partir destas situações, o fator sombreamento começou a nos chamar a atenção, pois seguramente estaria influenciando para baixa performance dos sistemas.

Constatamos que em algumas instalações, os sistemas se encontravam em condições precárias, estavam com seus vidros deslocados e sujos, com o sistema de vedação fora de lugar e com o aspecto visual comprometido, ou seja, sem manutenção.

Outro item que será abordado nas análises, e que foi detectado durante a pesquisa de campo, é com relação as instalações voltadas para o sul e a estética na arquitetura.

## 5.2 Considerações Sobre as Fotos Aéreas

As fotos aéreas, que analisaremos a seguir, são todas da área estabelecida para o estudo, na cidade de Campo Mourão. Conforme demonstrado na figura 12, as fotos foram tiradas seguindo a ordem de passagem da aeronave sobre a área.

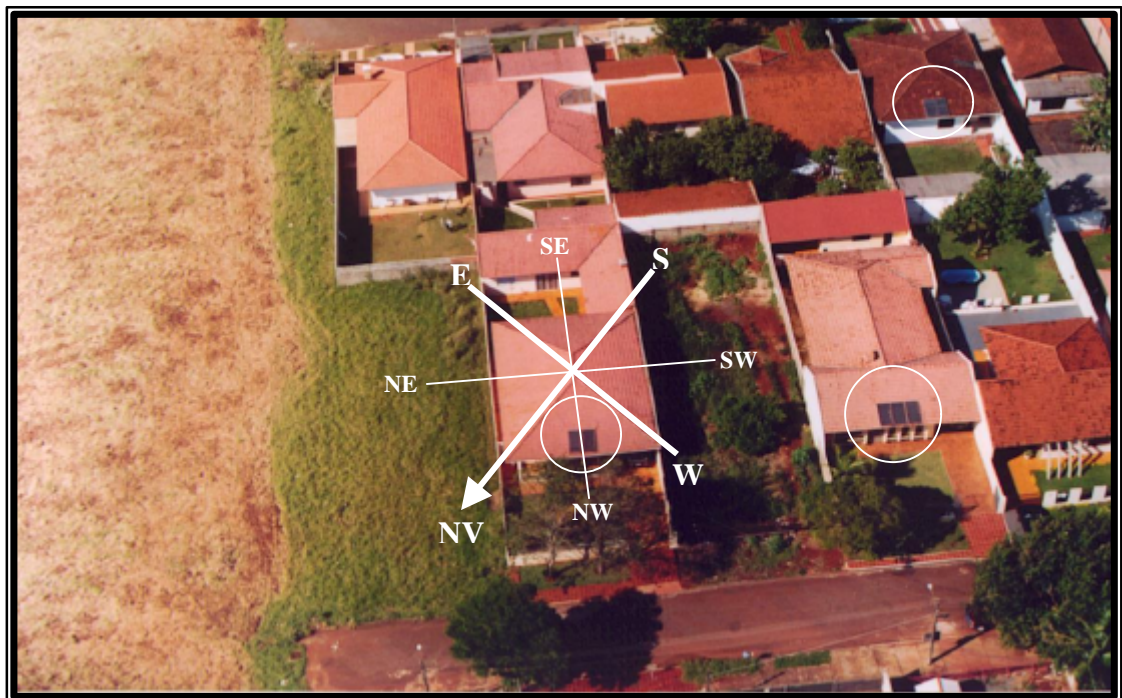


FIGURA 12: Foto aérea A1



Na primeira figura, (A1), determinamos, em forma de croqui, os pontos cardeais sobre a residência que aparece em primeiro plano, para nos auxiliarem nas análises abordadas, e também porque toda a área encontra-se com a mesma configuração urbanística. Ressaltamos, também, que todos os sistemas encontrados são do tipo termossifão.

Um dos pontos observados na figura 12 é quanto ao posicionamento das vias públicas, o partido urbanístico está disposto de tal forma que as avenidas estão sempre voltadas ao rumo 50° NE e as ruas no rumo 40° NW. As quadras e os lotes, por serem de forma retangular e perpendiculares às vias, acabam por ter os mesmos rumos. Ao observarmos as edificações dentro dos lotes verificamos que quase todas encontram-se com suas paredes edificadas sempre no sentido paralelo às divisas, como consequência ao verificarmos os telhados, independente do número de águas, os mesmos terão seus rumos sempre voltados a 40° NW, 50° NE, 40° SE ou 50° SW.

Podemos observar que nas três residências onde aparecem os coletores solares planos, estes estão instalados na face da cobertura que está voltada ao rumo 40° NW, portanto fora da recomendação das NBRs e fabricantes, que é de no máximo 15° a partir do Norte Verdadeiro, o ponto da cobertura que apresenta o rumo ideal é onde encontra-se o espigão.

No momento da elaboração do projeto arquitetônico, a imposição do partido urbanístico, somada ao desconhecimento ou desinteresse por parte dos proprietários e projetistas, deixam como consequência aos sistemas de coletores solares uma posição inadequada a sua instalação.

Na segunda passagem sobre a área tiramos duas fotos do setor (B1 e B2). Na figura 13, B1, identificamos apenas um sistema instalado, demarcado com um círculo branco. Este sistema está instalado na face do telhado voltado ao rumo 50° SW, com as placas coletoras direcionadas ao rumo 40° NW.



FIGURA 13: Foto aérea B1



FIGURA 14: Foto aérea B2

Na figura 14, B2, identificamos seis sistemas instalados, todos são a termossifão, o que os diferencia é quanto ao posicionamento de sua instalação. Os sistemas identificados com o círculo branco, quatro residências, estão voltados aos rumos  $40^{\circ}$  NW; com o círculo vermelho, uma residência, voltado ao rumo  $50^{\circ}$  SW; com círculo amarelo, voltado ao rumo  $50^{\circ}$  NE, também uma residência.

Na terceira passagem (C1), figura 15, identificamos três coletores, sendo que os dois que estão identificados com o círculo preto já foram citados na figura anterior, ainda assim temos um sistema identificado com círculo branco que se encontram instalados para o rumo  $40^{\circ}$  NW.



FIGURA 15: Foto aérea C1

Na quarta passagem (D1), figura 16, podemos identificar mais seis coletores. Neste caso temos cinco sistemas, identificados com o círculo branco, que estão voltados ao rumo  $40^{\circ}$  NW. A única residência que apresenta um telhado que não está totalmente voltado aos rumos referidos ( $40^{\circ}$  NW,  $50^{\circ}$  NW,  $40^{\circ}$  SE,  $50^{\circ}$  SW) está com o sistema instalado para o rumo  $90^{\circ}$  W, ou seja, fora do recomendado, que é de  $0^{\circ}$  Norte, identificado com o círculo vermelho.





FIGURA 16: Foto aérea D1

Na quinta passagem (E1), figura 17, podemos identificar um total de sete sistemas instalados, dos quais seis estão voltados ao rumo  $40^\circ$  NW, e (identificados com círculo preto), um (círculo vermelho) voltado ao rumo  $50^\circ$  SW.



FIGURA 17: Foto aérea E1

Na sexta passagem (F1), figura 18, identificamos mais quatro sistemas, todos voltados ao rumo 40° NW.



FIGURA 18: Foto aérea F1



FIGURA 19: Foto aérea

A figura 19 é uma foto aérea do local, mas que foi tirada de um ângulo diferente das anteriores, com o objetivo de mostrar que em alguns casos fica impossível identificar os coletores, pois os mesmos estão parcialmente ou totalmente sombreados pela vegetação, como é o caso aqui apresentado, identificados com o círculo branco.

Como resultado das fotos aéreas, pudemos concluir que o partido urbanístico acabou interferindo de forma decisiva para que as residências apresentassem seus telhados sempre voltados a rumos que não sejam os ideais para a instalação deste sistema, pois de um total de 33 (trinta e três) sistemas encontrados nas fotos, 29 (vinte e nove) estão voltados ao rumo 40° NW, 3 (três) ao rumo 50° SW e 1 (um) para o rumo 90° W.

Um partido urbanístico, através da disposição de sua malha urbana, influencia, e muito, na eficiência de sistemas de aquecimento d'água com coletores solares. Desta forma, não se trata apenas da elaboração prévia de um projeto arquitetônico para este fim, mas sim do custo que estas mudanças podem causar ao proprietário a fim de adaptar ao sistema proposto e ao espaço físico dos lotes, que é, em alguns casos, relativamente pequeno.

### **5.3 Análise dos Casos de Campo Mourão**

#### **5.3.1 Caso 1**

A edificação residencial, deste estudo, localiza-se em um terreno de esquina, sendo este de forma retangular, tendo a testada principal com vinte metros para a avenida, e trinta e dois metros de profundidade para a rua lateral. Observando-se a edificação da avenida, a mesma se localiza com um recuo frontal e lateral de cinco metros (croqui da figura 20).



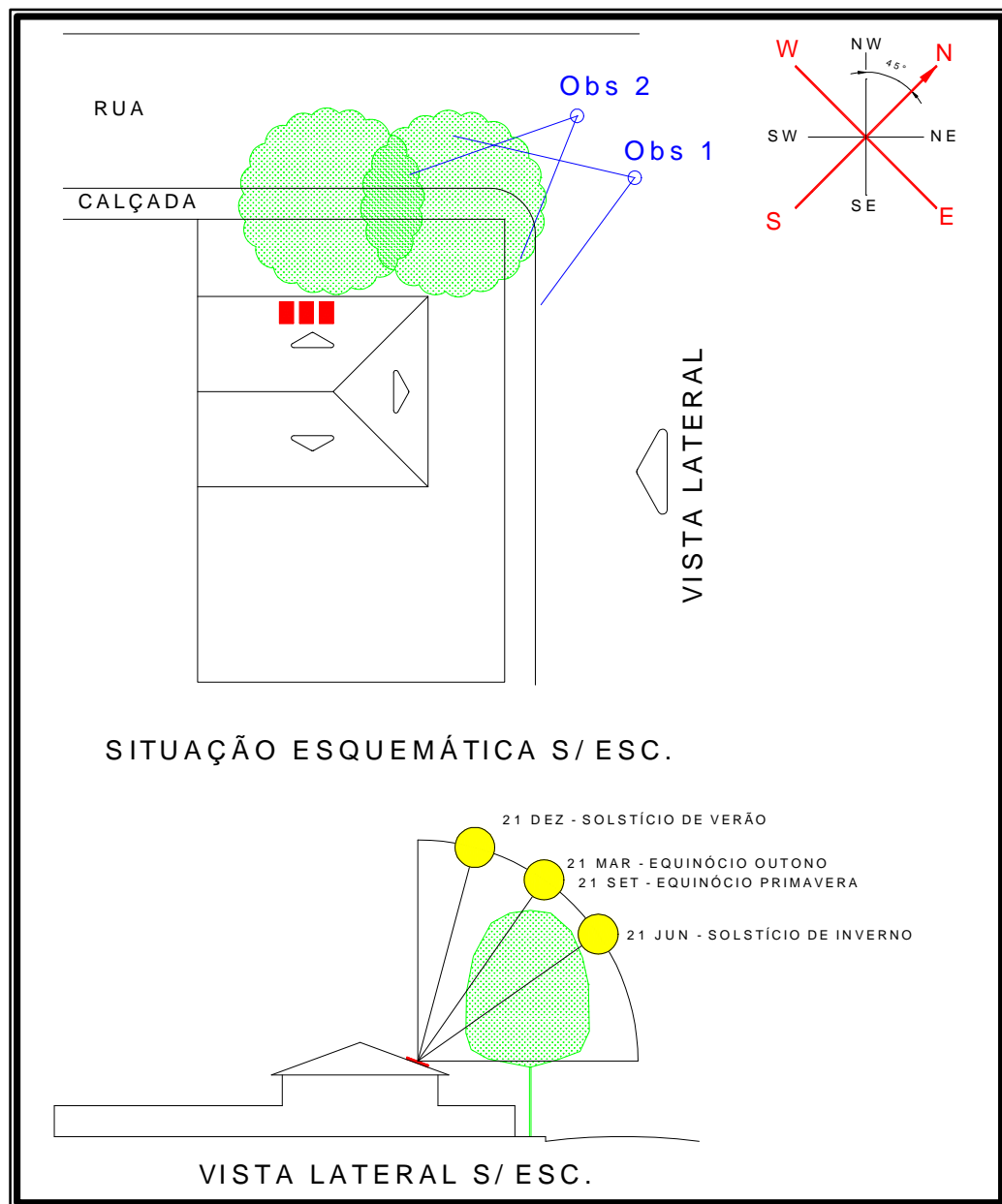


FIGURA 20: Croqui do caso 1

A edificação é em alvenaria, térrea, com a cobertura em três águas, de telha cerâmica, com a inclinação das águas em 20°.

O sistema de aquecimento solar empregado para o aquecimento da água é do tipo termossifão, dotado de duas placas coletoras dispostas lado a lado, locadas no plano frontal da cobertura, com inclinação de 20° e direcionadas para o rumo 40° NW.

No calçamento da avenida, posicionadas em frente a residência, estão locadas duas árvores da espécie “Ipê Roxo”, que se encontram em sua fase adulta, com oito metros de altura e com uma copada de aproximadamente oito metros de diâmetro. Essas espécies pertencem a família das chamadas árvores caducas, o que significa dizer que nos períodos de

inverno deveriam perder suas folhas, com isto permitindo a passagem dos raios solares (figuras 21 e 22).



FIGURA 21: Foto observador 1



FIGURA 22: Foto observador 2



Para este caso identificamos duas situações que contribuem para diminuir a eficiência do sistema:

1º) como demonstrado na figura 20, o posicionamento das placas coletoras está no rumo 40° NW, ou seja, com um desvio acima do recomendado pelos fabricantes, que é de no máximo 15°. Ao efetuarmos o estudo comparativo no quadro de radiação diária (kWh/m2), tabela 1, e figuras 23 e 24, verificamos que, apesar da média anual ser igual, com 4,911 kWh/m2, não significa que o sistema esteja operando de forma correta, pois se observarmos a média diária obtida no dia 21 de junho, solstício de inverno, esta é de 613 kWh/m2, quando poderia chegar a 705 kWh/m2.

Quadro para determinação da radiação diária (kWh/m2)						
			Leitura as 12:30h (W/m2)			
Situação do coletor	ângulo de inclinação do coletor	desvio azimutal do norte	21/dez	21/mar	21/jun	Média anual kWh/m <sup>2</sup>
Atual	20	-40	747	771	613	4,911
Ideal	35	0	664	749	705	4,911

Fonte: Laboratório de Energia Solar - GESTE - PROMEC - UFRGS

TABELA 1: Quadro de radiação solar sem sombreamento

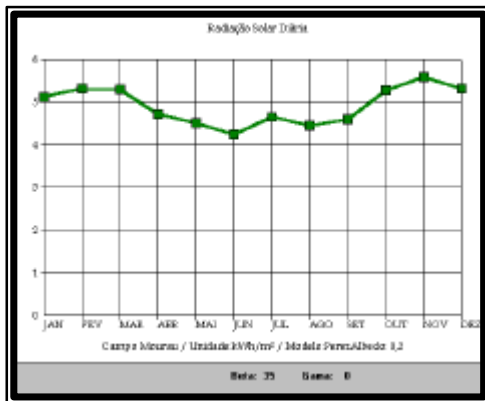


FIGURA 23: Gráfico de radiação solar ideal

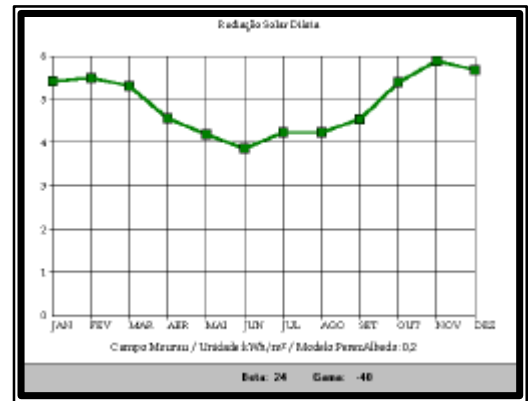


FIGURA 24: Gráfico de radiação solar atual

2º) o efeito do sombreamento sobre as placas coletoras causado pela vegetação existente no calçamento. Na vista lateral do croqui, verificamos a projeção do movimento aparente do sol e a sua incidência sobre as placas coletoras nos períodos de solstício de verão ao solstício de inverno. Na tabela 2 temos a planilha de incidência solar e sombreamento, o que nos permite inferir, que, apesar da distância existente entre as árvores e as placas



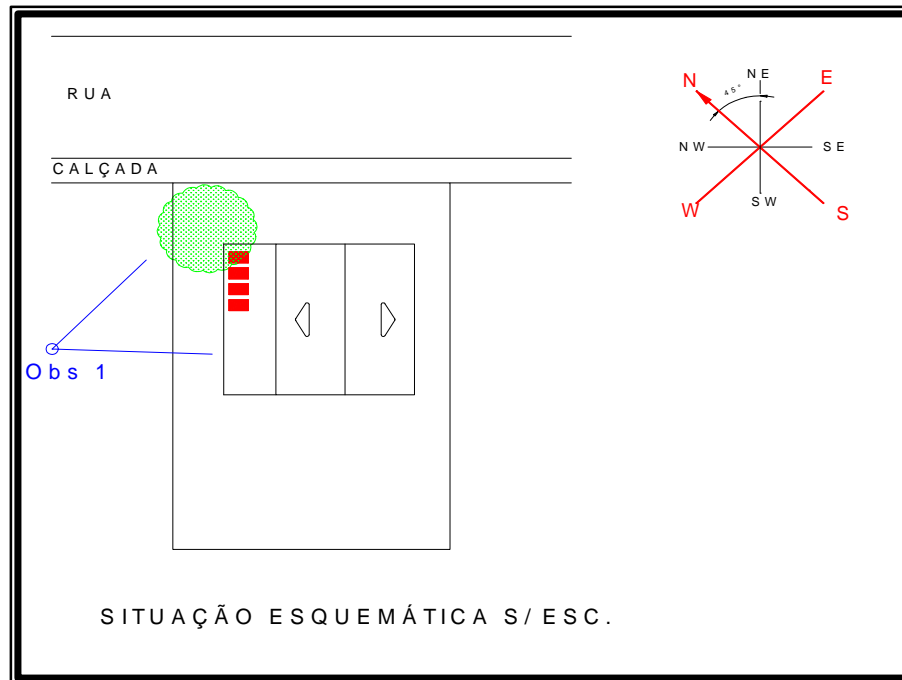


FIGURA 25: Croqui do caso 2

Podemos, ainda, observar na situação esquemática, figuras 25 e 26, a existência de uma árvore de grande porte plantada nas proximidades da residência, entre o alinhamento predial e a edificação. Essa árvore é da espécie “Sibipiruna” e está na fase adulta, sua altura está próxima dos oito metros e o diâmetro da copada em torno de seis metros.

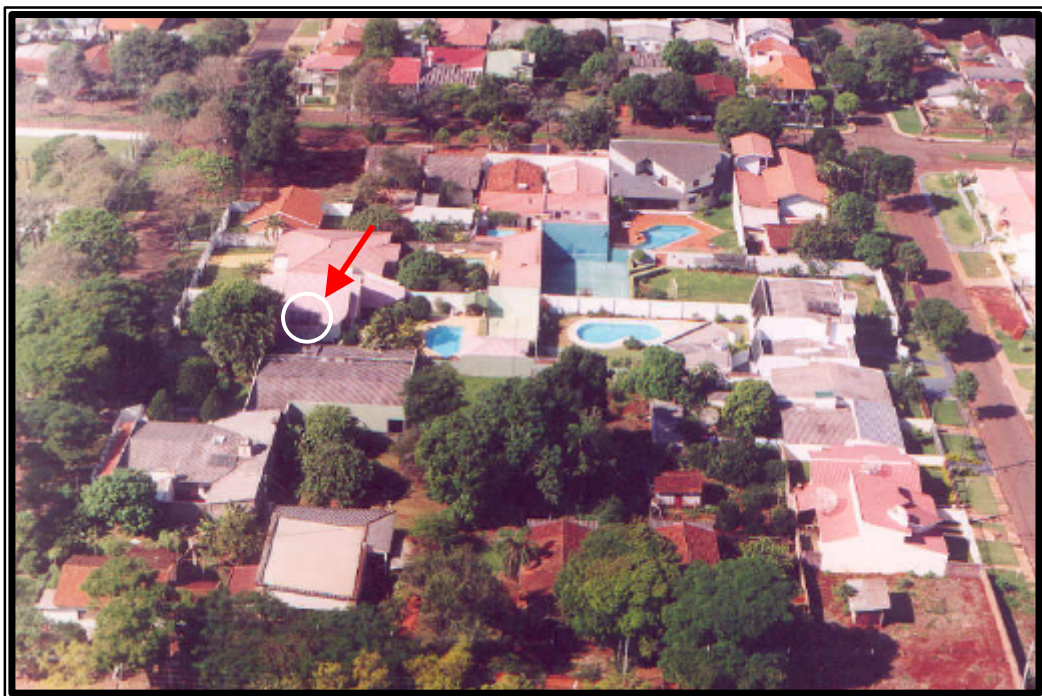


FIGURA 26: Foto Aérea

Pelos dados citados acima concluímos que este caso apresenta duas situações que estão interferindo no sistema, impedindo desta forma que o mesmo possa operar de maneira a produzir sua máxima eficiência:

1º) Como demonstrado na figura 25, o posicionamento das placas coletoras está no rumo 40° NW, ou seja, com um desvio acima do recomendado pelos fabricantes, que é de no máximo 15°, e com a inclinação das placas em 30°. Ao efetuarmos o estudo comparativo no quadro de radiação diária (kWh/m<sup>2</sup>), tabela 3, e figuras 27 e 28, verificamos que, as médias ideais para os períodos de 21 de dezembro, 21 de março e 21 de junho são respectivamente 664, 749 e 705 kWh/m<sup>2</sup> e as resultantes apresentadas pelo sistema são respectivamente 721, 768 e 637 kWh/m<sup>2</sup>, portanto, médias muito próximas. Porém, se tivéssemos o sistema instalado de forma que as placas coletoras ficassem orientadas ao rumo Norte, poderíamos, assim, obter um pequeno ganho no período de 21 de junho, em que ocorre o solstício de inverno, e onde o sistema é mais solicitado na produção de água quente.

Quadro para determinação da radiação diária (kWh/m <sup>2</sup> )						
Situação do coletor	ângulo de inclinação do coletor	desvio azimutal do norte	Leitura as 12:30h (W/m <sup>2</sup> )			Média anual kWh/m <sup>2</sup>
			21/dez	21/mar	21/jun	
Atual	30	-40	721	768	637	4,867
Ideal	35	0	664	749	705	4,911

Fonte: Laboratório de Energia Solar - GESTE - PROMEC - UFRGS

TABELA 3: Quadro de radiação solar sem sombreamento

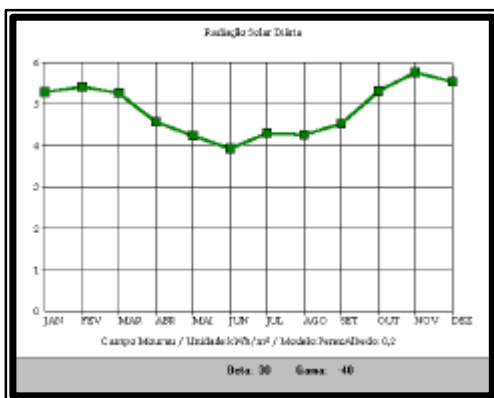


FIGURA 27: Gráfico de radiação solar atual

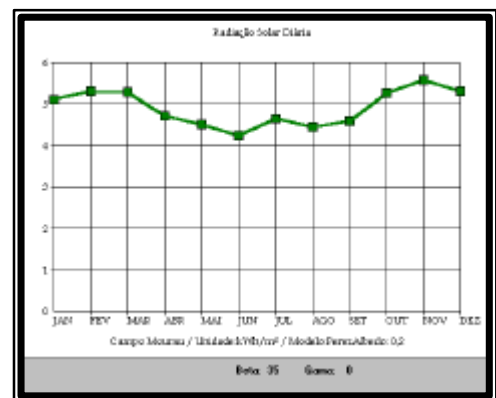


FIGURA 28: Gráfico de radiação solar ideal

2º) Ao verificarmos o demonstrativo do quadro de incidência solar e sombreamento da tabela 3, podemos inferir que o sombreamento sobre as placas causado pela árvore, também, compromete o bom funcionamento do sistema. No período do solstício de verão as placas ficam sombreadas do nascer do sol até às 11h; já no solstício de inverno o período de sombreamento aumenta, chegando até às 13horas. Para que possamos ter um bom rendimento do sistema empregado, o mesmo deve receber o máximo de radiação solar direta durante o período das 8h às 16h, o que não ocorre com este caso. Como podemos verificar na tabela 4, no período do solstício de inverno, as placas chegam a receber apenas 38% da incidência solar para o período diário, ficando desta maneira sem produzir água quente.

Planilha de incidência solar e sombreamento sobre o coletor em um periodo de 8 h/dia.										
horas do dia	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	% para 8 h/dia
solstício de verão										62%
equinócios										50%
solstício de inverno										38%
<div></div> incidência solar <div></div> sombreamento										

TABELA 4: Planilha de Incidência Solar e Sombreamento

### 5.3.3 Caso 3

A edificação residencial, do presente estudo, está localizada no meio da quadra, o terreno é de forma retangular, tendo na testada principal dezessete metros, e vinte e seis metros de profundidade, conforme descrito no croqui da figura 29. Observando-se a edificação da rua, ela se localiza com um recuo frontal e lateral esquerdo com cinco metros, no recuo lateral direito, parte da edificação está a cinco metros, e a outra parte, onde se encontra a varanda da residência, está sobre a linha da divisa; já o recuo para os fundos é de doze metros. A edificação é em alvenaria, térrea, com a cobertura em quatro águas, de telha cerâmica, tendo a inclinação das águas em 20°.

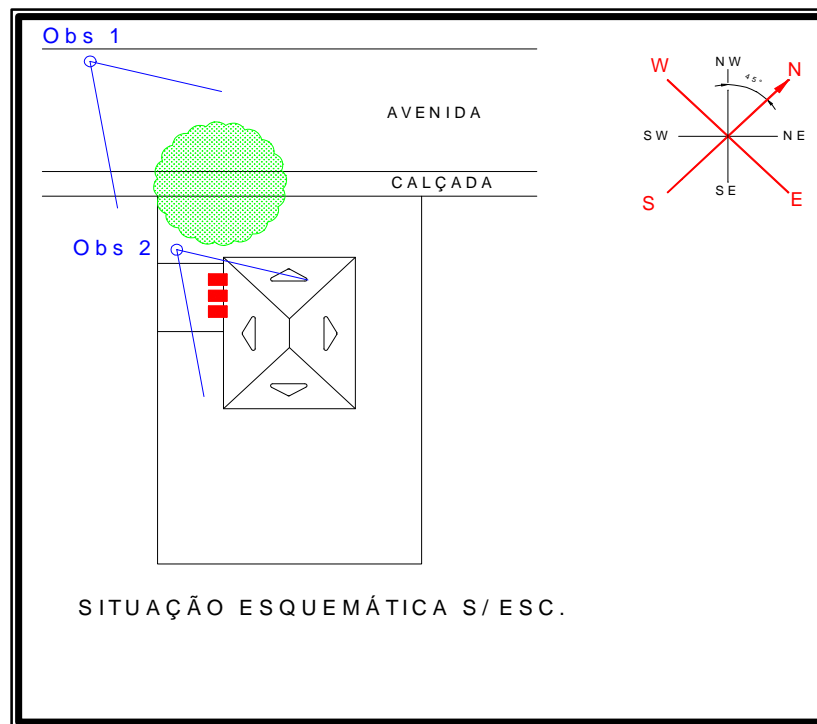


FIGURA 29: Croqui do caso 3

O sistema empregado para aquecimento d'água é do tipo termossifão, contendo três placas coletoras, instaladas lado a lado e localizadas na lateral direita da cobertura, com inclinação de  $20^\circ$  e direcionadas para o desvio azimutal do norte a  $-130^\circ$ .



FIGURA 30: Foto observador 1





FIGURA 31: Foto observador 2

Para este caso, ao verificarmos os resultados obtidos na tabela 5 e figuras 32, 33, fica evidente que o desvio azimutal norte, direcionado a  $-130^\circ$ , causa ao sistema resultados inadequados. Verificamos que no período de 21 de dezembro, em pleno verão, a radiação diária, em kWh/m<sup>2</sup>, encontra-se acima da ideal, o que não significa um resultado positivo para o sistema. Para o período de 21 de junho, em pleno inverno, em que a necessidade de produção de água quente é mais solicitada pelo usuário, a radiação chega a níveis de 456 kWh/m<sup>2</sup>, quando, se instalado em condições satisfatórias, poderia atingir 705 kWh/m<sup>2</sup>. Isto demonstra claramente que o fato das placas coletoras estarem voltadas ao quadrante sul contribuíram para a baixa performance do sistema de aquecimento d'água.

Quadro para determinação da radiação diária (kWh/m <sup>2</sup> )						
			Leitura as 12:30h (W/m <sup>2</sup> )			
Situação do coletor	ângulo de inclinação do coletor	desvio azimutal do norte	21/dez	21/mar	21/jun	Média anual kWh/m <sup>2</sup>
Atual	20	-130	747	685	456	4,455
Ideal	35	0	664	749	705	4,911

Fonte: Laboratório de Energia Solar - GESTE - PROMEC - UFRGS

TABELA 5: Quadro de radiação solar sem sombreamento

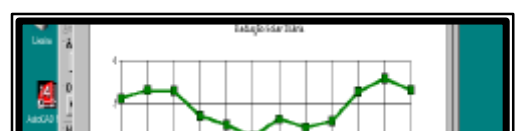


FIGURA 32: Gráfico da radiação solar atual

FIGURA 33: Gráfico da situação ideal

Outra situação inadequada para o bom funcionamento do sistema é o seu estado de conservação. Podemos verificar, que uma das placas encontra-se com o vidro de proteção quebrado, permitindo, com isso, o depósito da água das chuvas em seu interior. Também, as vedações laterais, que ficam entre a caixa do coletor e o vidro isolante, estão fora de lugar, ocasionando a perda de calor do seu interior, como demonstrado nas figuras 30 e 31.

#### 5.3.4 Caso 4

A edificação residencial localiza-se em um terreno de meio de quadra, sendo este de forma retangular, tendo a testada principal com vinte e um metros para a avenida, e trinta metros de profundidade. Observando-se a edificação da rua, a mesma se localiza com um recuo frontal, lateral esquerdo e lateral direito de cinco metros, e quatorze metros de recuo nos fundos, conforme descrito no croqui da figura 34. A edificação é em alvenaria, térrea, com a cobertura em quatro águas, de telha cerâmica, com a inclinação das águas em 20°.

O sistema de aquecimento solar empregado para o aquecimento da água é do tipo termossifão, dotado de duas placas coletoras dispostas lado a lado, locadas no plano frontal da cobertura, com inclinação de 20° e direcionadas para o rumo 40° NW.



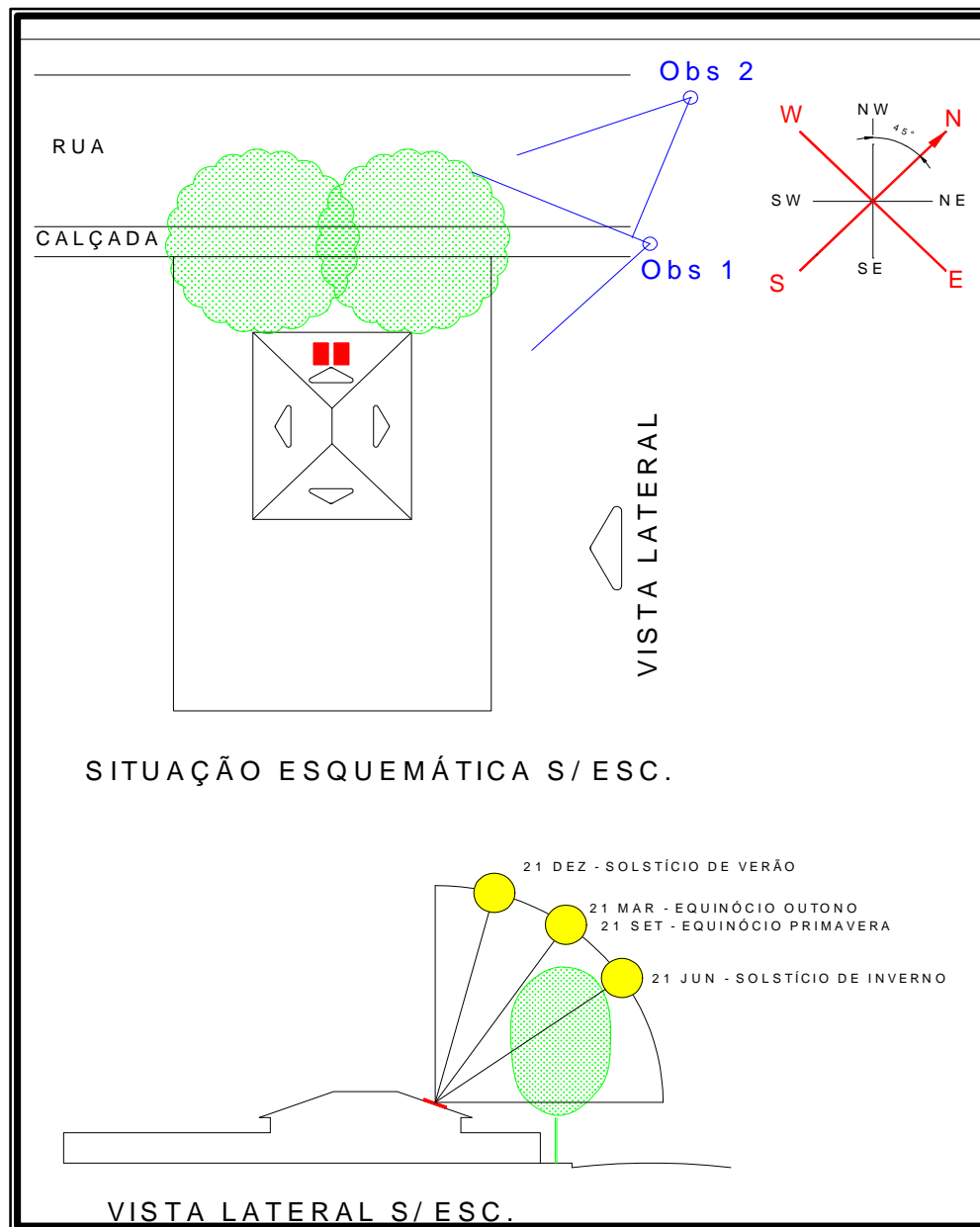


FIGURA 34: Croqui do caso 4

No calçamento da rua, posicionadas em frente a residência, estão locadas duas árvores da espécie “Ipê Roxo”, que se encontram em sua fase adulta, com aproximadamente oito metros de altura e diâmetro de copada. Essas espécies pertencem a família das chamadas árvores caducas, o que significa dizer, que no período de inverno deveriam perder suas folhas, com isto permitindo a passagem dos raios solares (figuras 35 e 36). Podemos verificar que, apesar das árvores estarem locadas no calçamento e a mais ou menos oito metros de distância das placas coletoras, estas estão causando sombreamento sobre as placas a partir das 14 horas, nos períodos que compreendem; do equinócio ao solstício de inverno.



FIGURA 35: Foto observador 1



FIGURA 36: Foto observador 2

Para este caso identificamos três situações que interferem no rendimento e na eficiência do sistema empregado:

1º) De acordo com os dados da figura 34, o ângulo de inclinação das placas coletoras, que está a 20°, deveria estar a 35°.

2º) O desvio azimutal do norte está a -40°, quando deveria estar a 0°.

Ao aferirmos os dados da tabela 6 e figuras 37 e 38, verificamos que a média anual em kWh/m<sup>2</sup>, entre a situação atual e ideal são exatamente iguais, porém existe uma pequena, mas significativa, diferença para os períodos de verão e inverno. No verão a média diária para às 12h 30min chega a 747, portanto, acima da ideal que é de 664, o que não se traduz como ganho real de eficiência/benefício para o usuário, uma vez que, para este período, a demanda pela água quente é menor. Já no inverno, o processo se inverte, para o mesmo período das 12h 30min, a média apresentada pelo sistema é de 613 kWh/m<sup>2</sup>, portanto abaixo da média possível de ser atingida pelo sistema, que é de 705 kWh/m<sup>2</sup>, e em um período em que a demanda pela água quente aumenta.

Quadro para determinação da radiação diária (kWh/m <sup>2</sup> )						
Situação do coletor	ângulo de inclinação do coletor	desvio azimutal do norte	Leitura as 12:30h (W/m <sup>2</sup> )			Média anual kWh/m <sup>2</sup>
			21/dez	21/mar	21/jun	
Atual	20	-40	747	771	613	4,911
Ideal	35	0	664	749	705	4,911

Fonte: Laboratório de Energia Solar - GESTE - PROMEC - UFRGS

TABELA 6: Quadro de Radiação Solar sem Sombreamento

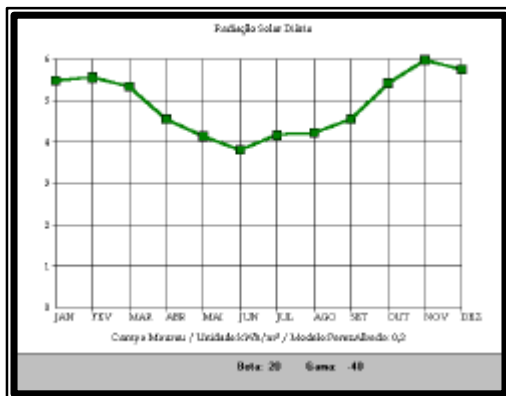


FIGURA 37: Gráfico da Radiação Solar Atual

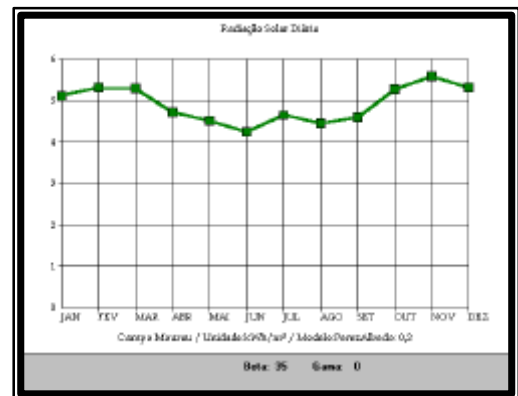


FIGURA 38: Gráfico da Radiação Solar Ideal



oito metros de altura e com uma copada de aproximadamente oito metros de diâmetro; e no jardim da casa dois “Coqueiros”, estes também em sua fase adulta, com altura próxima dos doze metros, conforme demonstrados nas figuras 39 e 40.



FIGURA 39: Foto 1 do caso 5



FIGURA 40: Foto 2 do caso 5

Embora, neste caso, ocorram os problemas de desvio azimutal do norte e sombreamento nas placas coletoras, causadas pela vegetação, nosso objetivo é demonstrar o



estado de conservação das placas coletoras.

Ao verificarmos o estado em que se encontram as placas coletoras, identificamos alguns itens que estão contribuindo para que o sistema não possa operar de forma ideal na produção d'água quente, são eles:

- o acúmulo de poeira sobre seus vidros;
- as fitas de isolamento, que ficam entre os vidros e as caixas dos coletores, que estão soltas e fora do lugar;
- os vidros, em duas placas estão deslocados de seus lugares, permitindo a entrada da água das chuvas no seu interior;
- a presença de ferrugem, na base inferior das placas.

Todos os itens acima citados, sobre as condições atuais dos coletores, encaixam-se nos abordados nos manuais dos fabricantes e nas NBRs, onde são descritos como situações que contribuem para baixa performance do sistema.

## **5.4 Estudo de Casos em Cidades Vizinhas**

### **5.4.1 Caso 1**

A edificação residencial, do presente estudo, está localizada no meio da quadra, o terreno é de forma retangular, tendo na testada principal vinte metros, e vinte e oito metros de profundidade, conforme descrito no croqui da figura 41.

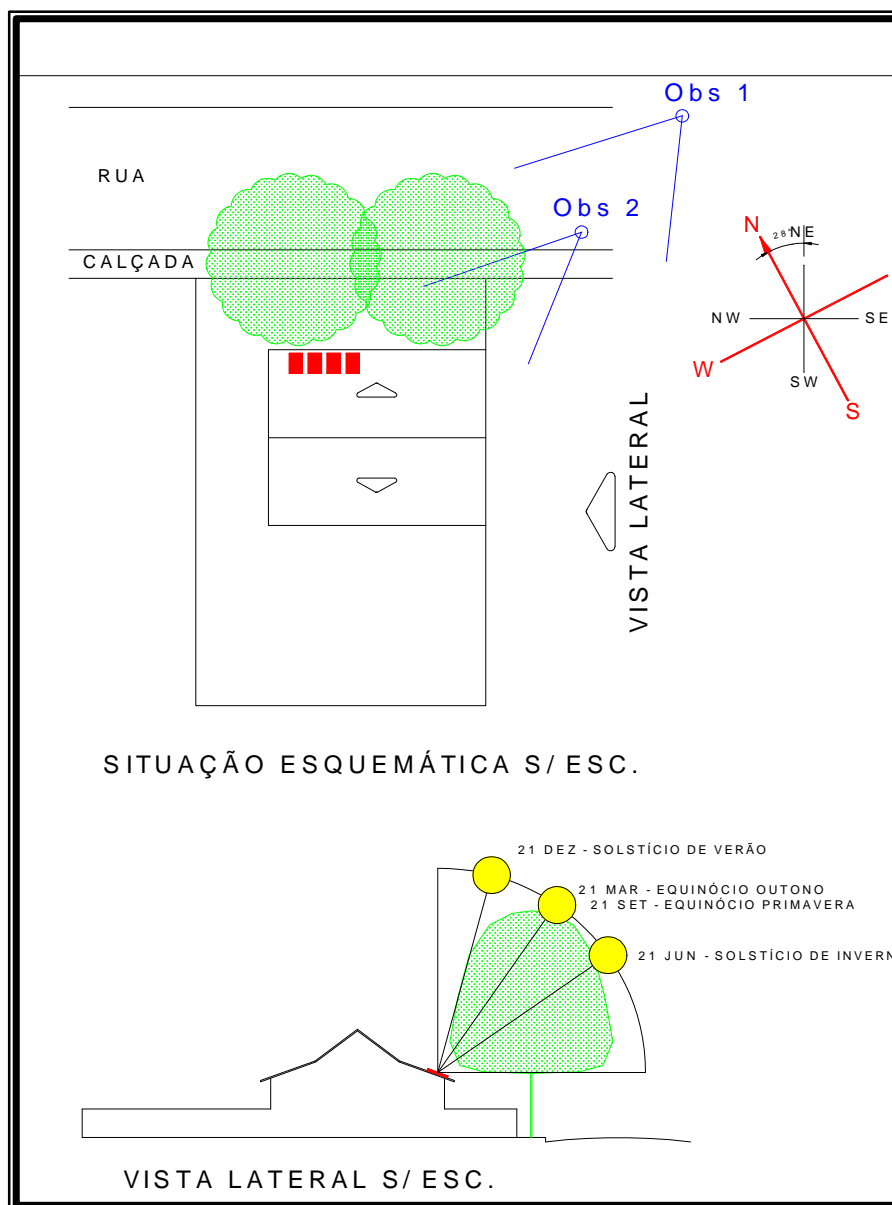


FIGURA 41: Croqui do caso 1

Observando-se a edificação da rua, ela se localiza com um recuo frontal e lateral direito de cinco metros, sendo o recuo para os fundos é de doze metros. A edificação é em alvenaria, com dois pavimentos. Sua cobertura, de telha cerâmica, está disposta em duas águas, uma para frente e a outra para os fundos, sendo que estas estão em vários níveis, alternando-se desta forma os planos do telhado, tendo a inclinação das águas em  $25^\circ$ , como podemos verificar nas figuras 42 e 43.



FIGURA 42: Foto observador 1



FIGURA 43: Foto observador 2

O sistema empregado para aquecimento d'água é do tipo termossifão, contendo quatro placas coletoras, instaladas lado a lado e localizadas na parte frontal da cobertura, com inclinação de  $25^\circ$  e direcionadas para o desvio azimutal do norte a  $28^\circ$ .



Ainda com relação a localização da edificação e entorno, é importante ressaltar a presença de duas árvores de grande porte que estão situadas na calçada, exatamente à frente da edificação.

Quanto a instalação das placas coletoras, ao verificarmos os dados obtidos na tabela 8, e figuras 44 e 45, podemos concluir que as pequenas diferenças existentes no ângulo de inclinação do coletor, que é de 25° para 35° e no desvio azimutal do norte 28° para 15°, são praticamente irrelevantes, pois, as diferenças entre as médias ideais e atuais são muito próximas, o que demonstra, que o sistema se encontra instalado dentro das recomendações dos fabricantes.

Quadro para determinação da radiação diária (kWh/m <sup>2</sup> )						
			Leitura as 12:30h (W/m <sup>2</sup> )			
Situação do coletor	ângulo de inclinação do coletor	desvio azimutal do norte	21/dez	21/mar	21/jun	Média anual kWh/m <sup>2</sup>
Atual	25	28	732	776	640	4,943
Ideal	35	0	664	749	705	4,911
Fonte: Laboratório de Energia Solar - GESTE - PROMEC - UFRGS						

TABELA 8: Quadro de Radiação Solar sem Sombreamento

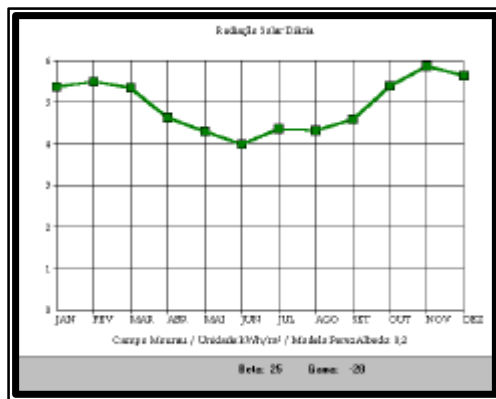


FIGURA 44: Gráfico de Radiação Solar - Atual

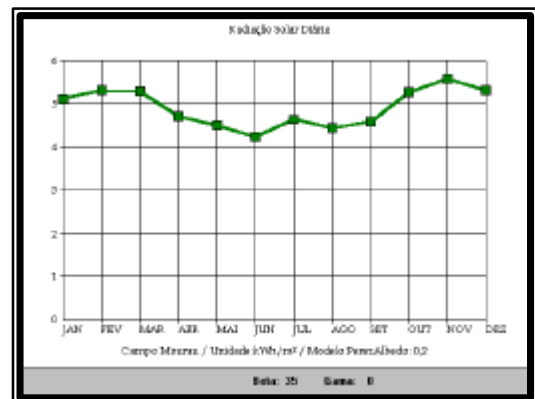


FIGURA 45: Gráfico de Radiação Solar – Ideal

Com relação ao sombreamento, fica evidente que as placas coletoras estão sujeitas a esta situação, como demonstrado nas figuras 42 e 43, fotos estas tiradas às 10h30min, do dia 17 de junho. O sombreamento ocorre devido a existência das duas árvores que estão plantadas no calçamento, e por estas estarem muito próximas das placas coletoras, exatamente à frente da edificação com relação ao Norte Verdadeiro e pelo fato das mesmas se encontrarem em sua fase adulta, com altura e copadas superiores aos vinte metros.

A tabela 9 nos demonstra a porcentagem para 8 horas/dia de incidência solar e sombreamento sobre o coletor, e o que podemos verificar, para o atual caso, é que mesmo no período do solstício de verão, onde o sol se encontra no seu zênite, as placas recebem 75% de incidência solar, chegando a apenas 13% no solstício de inverno, período em que o sistema é mais exigido na produção de água quente.

Planilha de incidência solar e sombreamento sobre o coletor em um período de 8 h/dia.										
horas do dia	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	% para 8 h/dia
solstício de verão										75%
equinócios										38%
solstício de inverno										13%
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="width: 15px; height: 15px; background-color: yellow; border: 1px solid black;"></div> incidência solar           <div style="width: 15px; height: 15px; background-color: gray; border: 1px solid black; margin-left: 20px;"></div> sombreamento         </div>										

TABELA 9: Planilha de Incidência Solar e Sombreamento

Dessa forma, podemos concluir que, o sistema foi instalado em conformidade às recomendações feitas pelos fabricantes, e, portanto, este deveria estar operando de forma satisfatória, não fossem os problemas decorrentes do sombreamento sobre as placas coletoras, causadas pela proximidade da vegetação existente no calçamento.

#### 5.4.2 Caso 2

A edificação residencial está localizada no meio da quadra, o terreno é de forma retangular, tendo na testada principal vinte metros, e trinta e quatro metros de profundidade, conforme descrito no croqui da figura 46. Observando-se a edificação da rua, ela se localiza com um recuo frontal de três metros, sobre as divisas nas laterais, e com recuo para os fundos de quatorze metros. A edificação é em alvenaria, térrea, com a cobertura em quatro águas, de telha cerâmica, tendo a inclinação das águas em 20°.

O sistema empregado para aquecimento d'água é do tipo termossifão, contendo quatro placas coletoras, instaladas lado a lado e localizadas na parte frontal da cobertura, com inclinação de 20° e direcionadas para o desvio azimutal do norte a 28°.

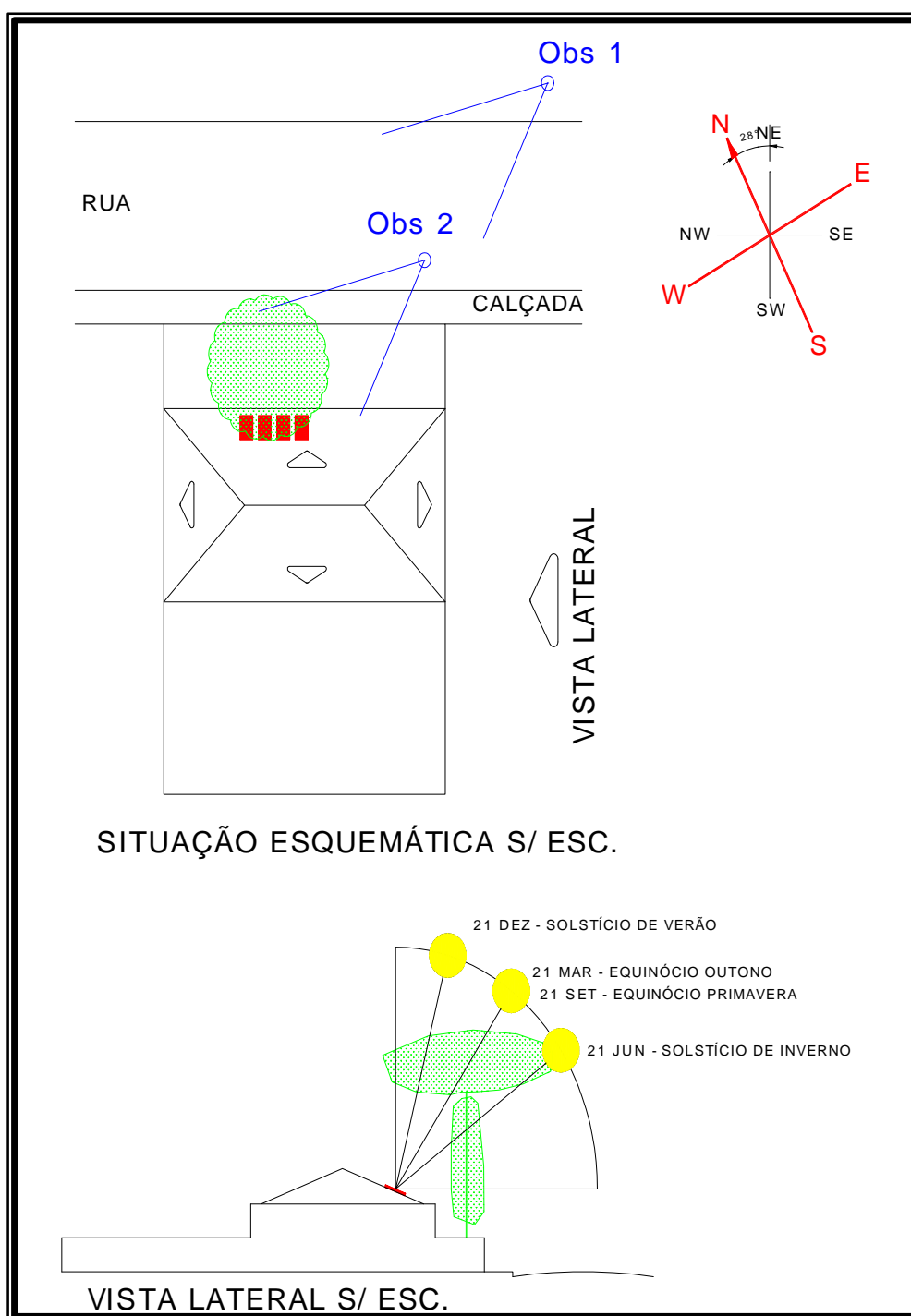


FIGURA 46: Croqui do caso 2

Entre a edificação e o alinhamento predial, a exatamente um metro da edificação, existe um pinheiro “Araucária”, com oito metros de altura, e quatro metros de copada. Este pinheiro está localizado bem à frente das placas coletoras em relação ao Norte Verdadeiro, como pode ser observado nas figuras 47 e 48.



FIGURA 47: Foto observador 1



FIGURA 48: Foto observador 2

Ao analisarmos os resultados do quadro de radiação solar na tabela 10, e figuras 49 e 50, podemos concluir que, as pequenas diferenças existentes no ângulo de inclinação do coletor, que é de 20° para 35°, e no desvio azimutal do norte, de 28° para 0°, tornam-se desfavoráveis, apenas no período em que ocorre o solstício de inverno, ficando a média em 606 kWh/m<sup>2</sup>, portanto, abaixo da média possível de ser atingida pelo sistema, que é de 705 kWh/m<sup>2</sup>. As diferenças entre as médias ideais e atuais nos períodos de solstício de verão e equinócios são muito próximas, demonstrando que o sistema instalado encontra-se bem próximo das instalações ideais recomendadas pelos fabricantes.

Quadro para determinação da radiação diária (kWh/m <sup>2</sup> )						
			Leitura as 12:30h (W/m <sup>2</sup> )			
Situação do coletor	ângulo de inclinação do coletor	desvio azimutal do norte	21/dez	21/mar	21/jun	Média anual kWh/m <sup>2</sup>
Atual	20	28	730	756	606	4,946
Ideal	35	0	664	749	705	4,911
Fonte: Laboratório de Energia Solar - GESTE - PROMEC - UFRGS						

TABELA 10: Quadro de radiação solar sem sombreamento

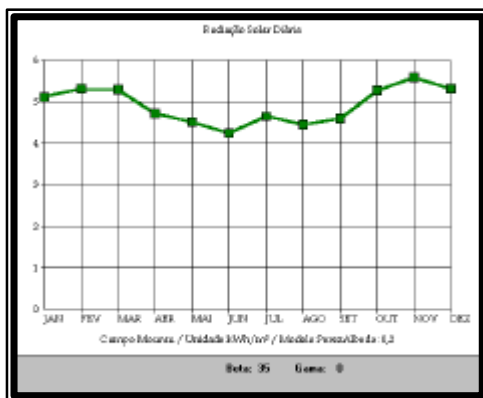


FIGURA 49: Gráfico de radiação solar ideal

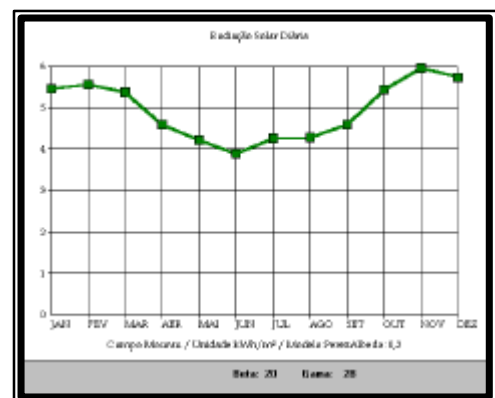


FIGURA 50: Gráfico de radiação solar atual

Neste estudo de caso, o grande problema para o sistema é o sombreamento das placas coletoras, sombreamento este causado pelo pinheiro que está localizado exatamente à frente da edificação e à frente das placas com relação ao Norte Verdadeiro. Ao analisarmos a tabela 11, podemos constatar que as placas coletoras recebem apenas 25% da radiação solar direta, compreendida no período das oito horas diárias. A radiação só atinge as placas nos períodos das 8h às 9h da manhã e das 15h às 16h da tarde, pois é o momento em que os raios solares

passam por baixo da copada do pinheiro, o restante do período as placas ficam totalmente sombreadas, recebendo apenas a radiação solar difusa.

Planilha de incidência solar e sombreamento sobre o coletor em um período de 8 h/dia.										
horas do dia	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	% para 8 h/dia
solstício de verão										25%
equinócios										25%
solstício de inverno										25%
<div></div> incidência solar <div></div> sombreamento										

TABELA 11: Planilha de Incidência Solar e Sombreamento

Para este caso o sombreamento contribui sobremaneira para a baixa performance do sistema.

### 5.4.3 Caso 3

A edificação residencial localiza-se em um terreno no meio da quadra, sendo este de forma retangular, tendo a testada principal com quatorze metros para a avenida, e vinte e oito metros de profundidade. Observando-se a edificação da rua, a mesma se localiza com um recuo frontal de cinco metros, recuos laterais, esquerdo e direito, com dois metros, e com recuo para os fundos de quinze metros, conforme descrito no croqui da figura 51. A edificação é em alvenaria, térrea, com a cobertura em duas águas, de telha cerâmica, com a inclinação das águas em 28°.

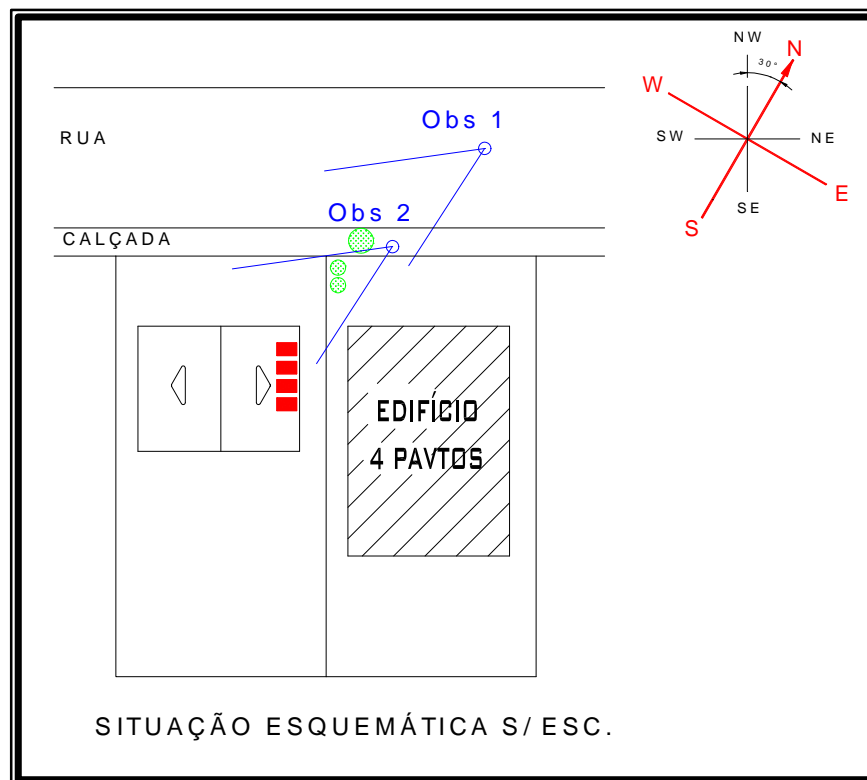


FIGURA 51: Croqui do caso 5

No terreno ao lado da edificação, lado esquerdo visto da rua, encontra-se locado a cinco metros de recuo do alinhamento predial, e a três metros de recuo nas laterais, um edifício de quatro pavimentos, com aproximadamente quinze metros de altura. Em frente ao edifício, próximo a divisa lateral direita, temos dois “Coqueiros” plantados no jardim e um pinheiro da espécie “Cipreste” plantado na calçada (figuras 52 e 53).

O sistema de aquecimento solar empregado para o aquecimento da água é do tipo termossifão, dotado de quatro placas coletoras dispostas lado a lado, locadas no plano lateral esquerdo da cobertura, com inclinação de 28° e direcionadas para o rumo 58° NE.





FIGURA 52: Foto observador 1



FIGURA 53: Foto observador 2



Para este caso identificamos três situações que interferem no rendimento e na eficiência do sistema empregado:

1º) De acordo com os dados da figura tabela 12, o ângulo de inclinação das placas coletoras, que está a 28°, deveria estar a 35°.

Quadro para determinação da radiação diária (kWh/m <sup>2</sup> )						
Situação do coletor	ângulo de inclinação do coletor	desvio azimutal do norte	Leitura as 12:30h (W/m <sup>2</sup> )			Média anual kWh/m <sup>2</sup>
			21/dez	21/mar	21/jun	
Atual	28	58	696	708	558	4,787
Ideal	35	0	664	749	705	4,911
Fonte: Laboratório de Energia Solar - GESTE - PROMEC - UFRGS						

TABELA 12: Quadro de radiação solar sem sombreamento

2º) O desvio azimutal do norte está a 58°, quando deveria estar a 0°. Ao aferirmos os dados, tabela 12 e figuras 54 e 55, verificamos que no verão a média diária para às 12h 30min chega a 696 kWh/m<sup>2</sup>, portanto, acima da ideal que é de 664 kWh/m<sup>2</sup>, o que não se traduz como benefício/economia para o usuário, uma vez que para este período a demanda pela água quente é menor. Já no inverno, para o mesmo período das 12h 30min, a média apresentada pelo sistema é de 558 kWh/m<sup>2</sup>, portanto, abaixo da média possível de ser atingida pelo sistema, que é de 705 kWh/m<sup>2</sup>, e em um período em que a demanda pela água quente é maior.



FIGURA 54: Gráfico da radiação solar atual

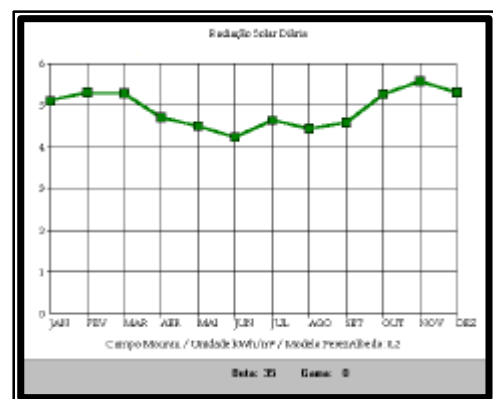


FIGURA 55: Gráfico da radiação solar ideal

3º) O sombreamento sobre as placas coletoras, causado principalmente pelo edifício existente no terreno ao lado. O sombreamento é parcial, porém ocorre de forma sistemática todos os dias nos períodos da manhã, do nascer do sol às 11h, isto porque em relação as



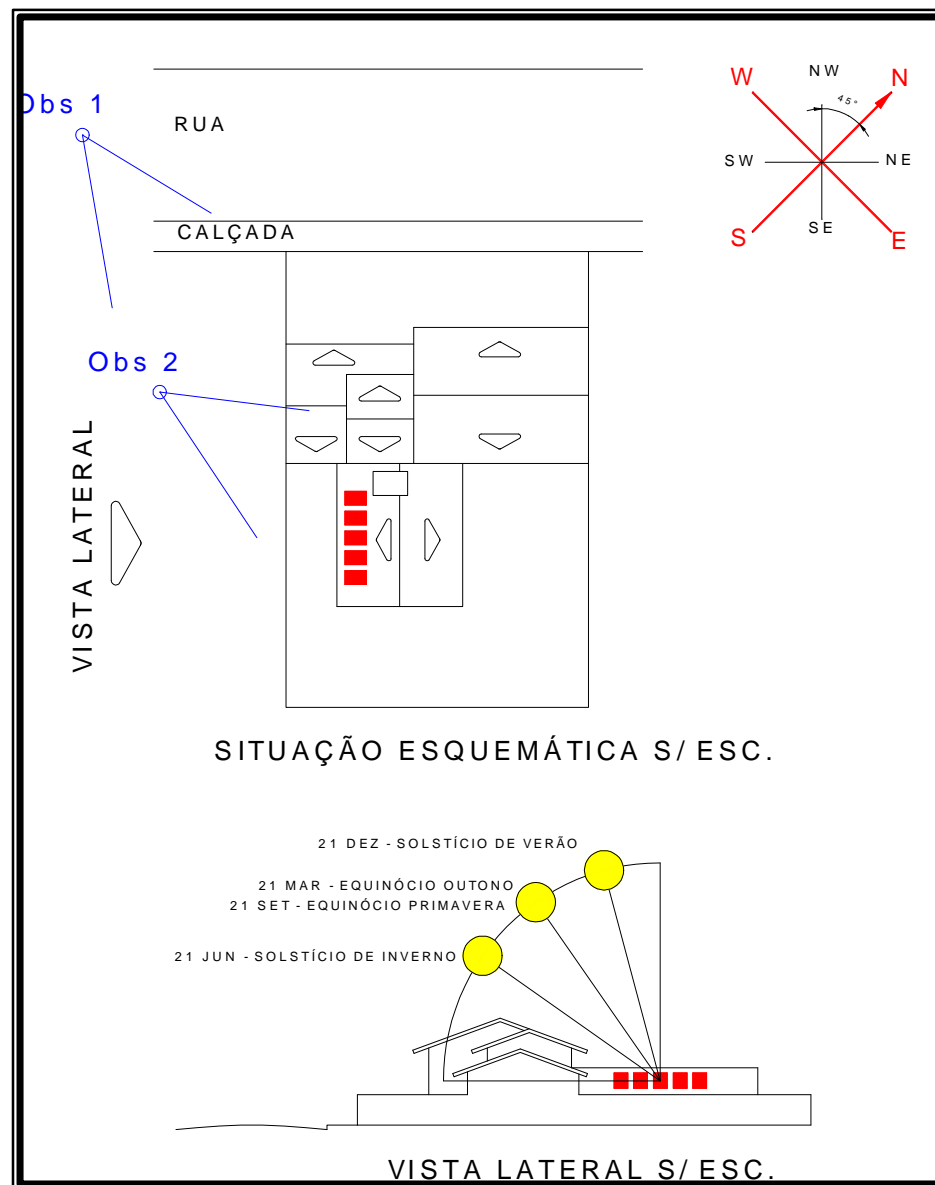


FIGURA 56: Croqui do caso 6

Ao observarmos as figuras 56, 57 e 58 podemos verificar que se trata de uma edificação com dois pavimentos na parte frontal e pavimento térreo nos fundos. A parte frontal está disposta com seu telhado em duas águas (frente e fundo), em vários níveis, voltados aos rumos NW/SE respectivamente. Na parte posterior da edificação, portanto, nos fundos, onde esta é térrea, temos um telhado também em duas águas, sendo que estes estão voltados aos rumos SW/NE, e sobre o plano voltado ao rumo  $25^\circ$  SW, que estão instaladas lado a lado as cinco placas coletoras com inclinação de  $43^\circ$ . O sistema de aquecimento solar empregado para o aquecimento da água é do tipo termossifão.



FIGURA 57: Foto observador 1



FIGURA 58: Foto observador 2

Neste caso temos duas situações a verificar:

a) Ao estudarmos a tabela 14 e figuras 59 e 60, observamos que o ângulo de inclinação do coletor está com  $43^\circ$ , quando o ideal é de  $35^\circ$ , logo, acima do recomendado. O desvio azimutal do norte está a  $-135^\circ$ , ou seja, fora do rumo ideal que é  $0^\circ$ . Estes desvios fazem com que as médias para os períodos fiquem fora das médias ideais. No solstício de verão a média é de  $667 \text{ kWh/m}^2$ , portanto, um pouco acima da ideal que é de  $664 \text{ kWh/m}^2$ , no período do equinócio o sistema já começa a apresentar uma média mais baixa que é de  $557 \text{ kWh/m}^2$ , quando poderia ser de  $749 \text{ kWh/m}^2$ , e para o período do solstício de inverno a situação fica ainda mais crítica, a média cai para  $316 \text{ kWh/m}^2$ , quando poderia apresentar a média de  $705 \text{ kWh/m}^2$ , período que o sistema passa a ser mais solicitado na produção de água quente.

Quadro para determinação da radiação diária (kWh/m <sup>2</sup> )						
Situação do coletor	ângulo de inclinação do coletor	desvio azimutal do norte	Leitura as 12:30h (W/m <sup>2</sup> )			Média anual kWh/m <sup>2</sup>
			21/dez	21/mar	21/jun	
Atual	43	-135	667	557	316	3,794
Ideal	35	0	664	749	705	4,911
Fonte: Laboratório de Energia Solar - GESTE - PROMEC - UFRGS						

TABELA 14: Planilha de Incidência Solar e Sombreamento

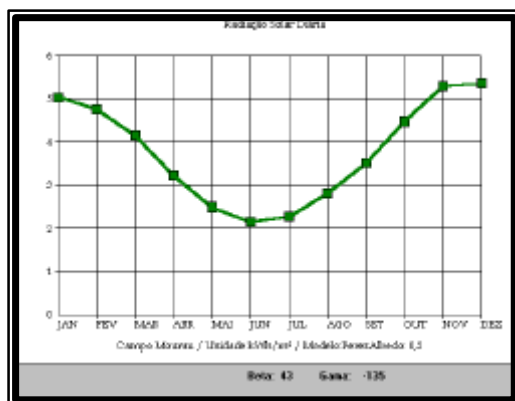


FIGURA 59: Gráfico de Radiação Solar Atual

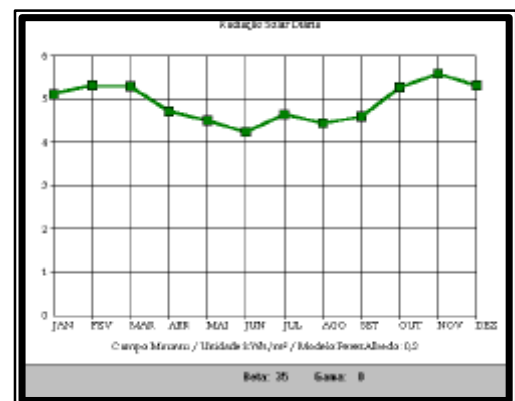


FIGURA 60: Gráfico de Radiação Solar Ideal

b) outro item aqui observado é quanto a localização e o posicionamento das placas coletoras em relação à própria casa. Nas figuras 57 e 58 (fotos estas tiradas às 11h30min no período de solstício de inverno), podemos observar o local da instalação das placas e o sombreamento sobre parte das placas coletoras causado pela própria edificação. As placas



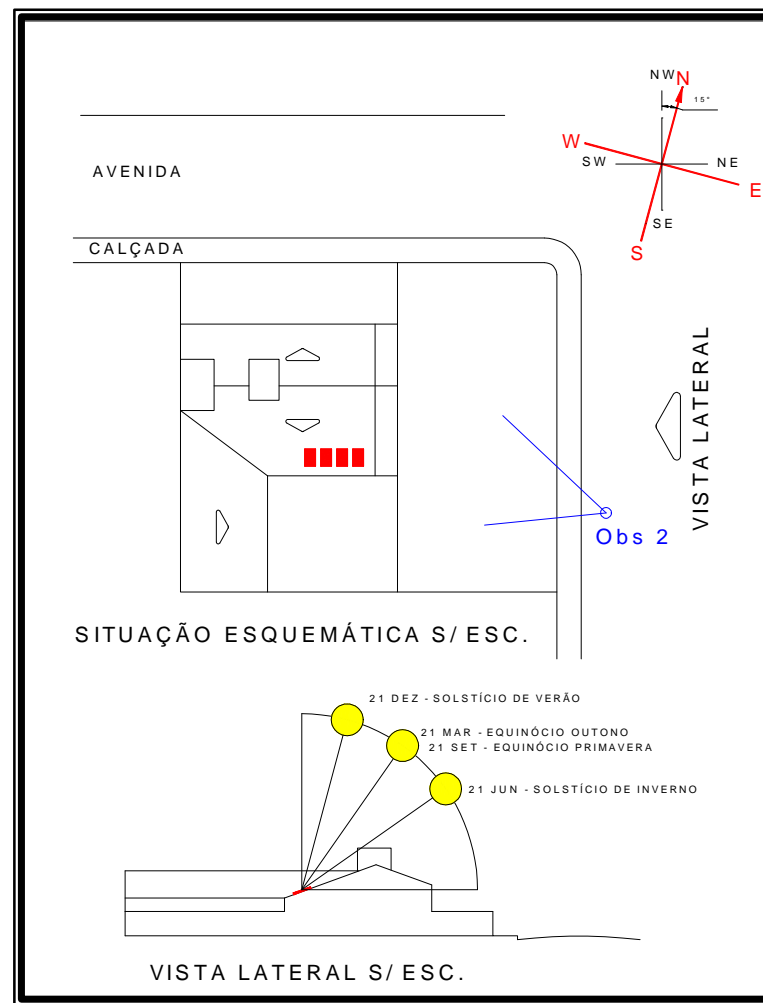


FIGURA 61: Croqui do caso 9

A edificação é em alvenaria, térrea, com a cobertura em duas águas (frente e fundo) na parte frontal, e em uma água na parte dos fundos, de telha de concreto, com a inclinação das águas em  $18^\circ$ .

O sistema de aquecimento solar empregado para o aquecimento da água é do tipo termossifão, dotado de quatro placas coletoras dispostas lado a lado, localizadas no plano dos fundos da cobertura, com inclinação de  $18^\circ$  e direcionadas para o desvio azimutal do norte a  $162^\circ$ , como pode ser observada na figura 62.



FIGURA 62: Foto observador 2

Ao analisarmos os resultados da tabela 16 e figuras 63 e 64 podemos observar que o ângulo de inclinação do coletor está a  $18^\circ$  quando deveria estar a  $35^\circ$  e o desvio azimutal do norte está a  $162^\circ$  quando deveria estar a  $0^\circ$ . Ao efetuarmos as leituras nos períodos de 21 de dezembro, 21 de março e 21 de junho, às 12h30min (W/m<sup>2</sup>), entre a situação atual e ideal para o sistema, verificamos que: no período do verão a média atual é de 735 kWh/m<sup>2</sup>, logo, acima da média ideal para o mesmo período que é de 664 kWh/m<sup>2</sup>, o fato da média encontrar-se em um nível mais elevado neste período não significa um resultado positivo, pois estamos em pleno verão, período em que a demanda pela água quente é relativamente baixa. No período do equinócio a média atual apresentada pelo sistema é de 654 kWh/m<sup>2</sup>, portanto, já passa a apresentar uma média inferior se comparada com a média possível de ser atingida pelo sistema que é de 749 kWh/m<sup>2</sup>. Para o período do solstício de inverno a média atual passa a apresentar níveis ainda mais baixos, chegando a 412 kWh/m<sup>2</sup> quando poderia estar operando na faixa de 705 kWh/m<sup>2</sup>, sabendo que, em pleno inverno a demanda pela água quente é maior.



Quadro para determinação da radiação diária (kWh/m <sup>2</sup> )						
			Leitura as 12:30h (W/m <sup>2</sup> )			
Situação do coletor	ângulo de inclinação do coletor	desvio azimutal do norte	21/dez	21/mar	21/jun	Média anual kWh/m <sup>2</sup>
Atual	18	162	735	654	412	4,395
Ideal	35	0	664	749	705	4,911
Fonte: Laboratório de Energia Solar - GESTE - PROMEC - UFRGS						

TABELA 16: Quadro de radiação solar sem sombreamento

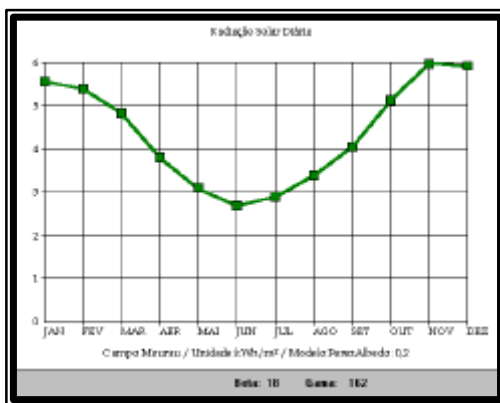


FIGURA 63: Gráfico da radiação solar atual

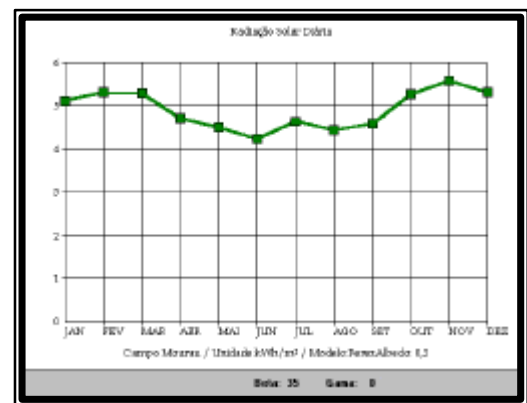


FIGURA 64: Gráfico da radiação solar ideal

Para este caso podemos concluir que a diferença apresentada no ângulo de inclinação das placas coletoras e o seu posicionamento à 162° (quadrante sul), quando deveriam estar voltadas a 0° (quadrante norte), contribuíram para a baixa performance do sistema ora empregado para aquecimento d'água.

#### 5.4.6 Caso 6

A edificação residencial está localizada em um terreno no meio da quadra, sendo este de forma retangular, tendo a testada principal com quatorze metros para rua, e vinte e oito metros de profundidade. Observando-se a edificação da rua, a mesma se localiza com um recuo frontal de cinco metros, sobre as divisas nas laterais, a parte posterior da edificação está locada no sentido longitudinal ao terreno e com recuos laterais de três metros, conforme figura 65.

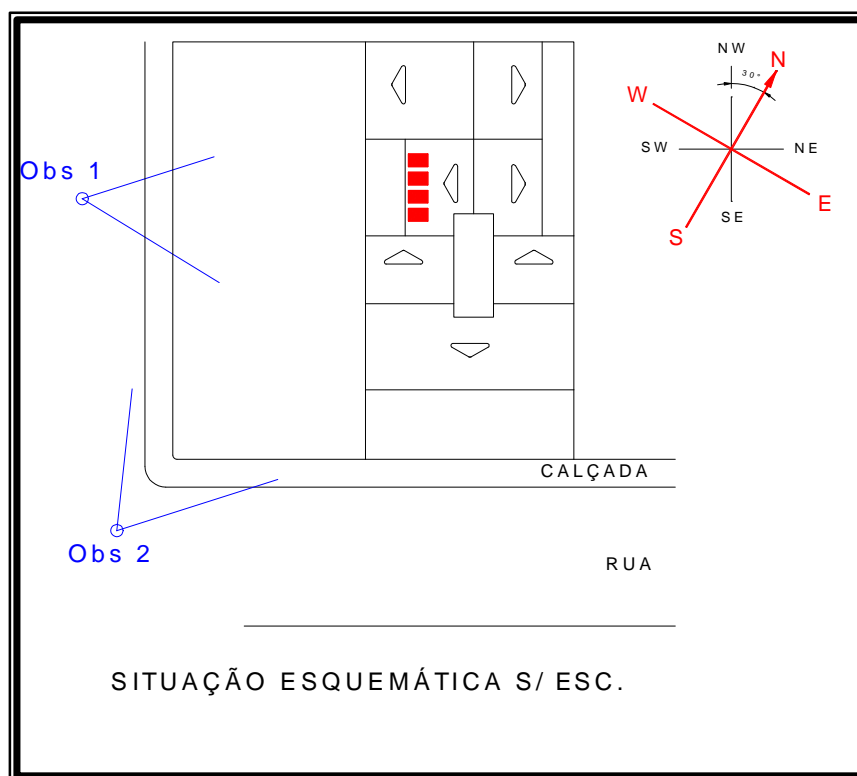


FIGURA 65: Croqui do caso 10

A edificação é em alvenaria, térrea, a cobertura de telhas cerâmicas está disposta em duas águas (frente e fundos) na parte frontal, na parte posterior da edificação, o telhado está dividido em duas águas no sentido SW/NE, estes perpendiculares às divisas e com inclinação das águas em 25°.

O sistema de aquecimento solar empregado para aquecimento da água é do tipo termossifão, dotado de quatro placas coletoras dispostas lado a lado, locadas no plano dos fundos da cobertura, com inclinação de 30° e direcionadas para o desvio azimutal -108°, como podemos observar nas figuras 65, 66 e 67.



FIGURA 66: Foto observador 1



FIGURA 67: Foto observador 2

No croqui da figura 65 podemos verificar o posicionamento dos observadores 1 e 2. O observador 1, descrito na figura 66, nos mostra a disposição das placas coletoras sobre o telhado e a incidência dos raios solares sobre estas às 8h30min, no período do solstício de

inverno. Podemos observar que neste horário os raios solares estão incidindo na parte inferior das placas, estes só passarão a incidir sobre as placas coletoras após às 10h.

O observador 2, aqui descrito pela figura 67, nos mostra a projeção dos raios solares sobre as placas coletoras às 15h30min do mesmo dia. Neste momento podemos observar que parte das placas coletoras já se encontram sombreadas, sombreamento este causado pelas edificações vizinhas.

Ao analisarmos os resultados da tabela 17 e figuras 68 e 69 podemos observar que o ângulo de inclinação do coletor está a  $30^\circ$ , quando deveria estar a  $35^\circ$  e o desvio azimutal do norte encontra-se a  $-108^\circ$ , quando deveria estar a  $0^\circ$ . Ao efetuarmos as leituras nos períodos de 21 de dezembro, 21 de março e 21 de junho, às 12h30min (W/m<sup>2</sup>), entre a situação atual e ideal para o sistema, verificamos que: no período do verão a média atual é de 726 kWh/m<sup>2</sup>, portanto, acima da média ideal para o mesmo período que é de 664 kWh/m<sup>2</sup>, em razão da média se encontrar em um nível mais elevado neste período. Isso não significa que o sistema esteja operando de forma satisfatória, pois estamos em pleno verão onde a demanda pela água quente é relativamente baixa. No período do equinócio a média atual apresentada pelo sistema é de 678 kWh/m<sup>2</sup>, logo passando a apresentar uma média inferior se comparada com a média possível de ser atingida pelo sistema que é de 749 kWh/m<sup>2</sup>. Para o período do solstício de inverno a média atual passa a apresentar níveis ainda mais baixos, chegando a 464 kWh/m<sup>2</sup>, quando poderia estar operando na faixa de 705 kWh/m<sup>2</sup>, portanto, em pleno inverno onde a demanda pela água quente é maior.

Quadro para determinação da radiação diária (kWh/m <sup>2</sup> )						
			Leitura as 12:30h (W/m <sup>2</sup> )			
Situação do coletor	ângulo de inclinação do coletor	desvio azimutal do norte	21/dez	21/mar	21/jun	Média anual kWh/m <sup>2</sup>
Atual	30	-108	726	678	464	4,389
Ideal	35	0	664	749	705	4,911
Fonte: Laboratório de Energia Solar - GESTE - PROMEC - UFRGS						

TABELA 17: Quadro de radiação sem sombreamento

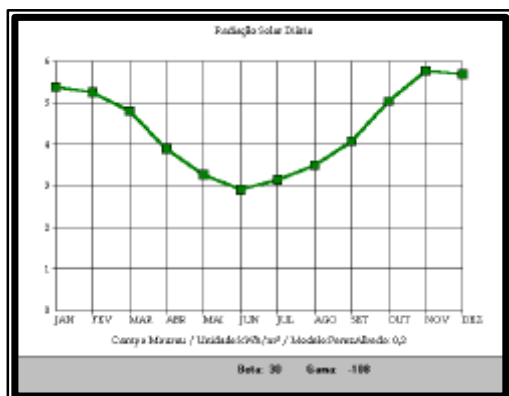


FIGURA 68: Gráfico da radiação solar atual

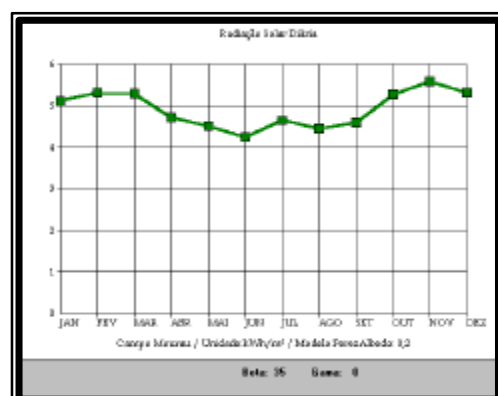


FIGURA 69: Gráfico da radiação solar ideal

Neste caso podemos concluir que um dos principais fatores que contribuíram para a baixa performance do sistema empregado para aquecimento d'água foi o posicionamento das placas coletoras com relação ao Norte Verdadeiro, pois estas estão voltadas para o rumo 72° SW, ou seja no quadrante sul. Outro fator foi o posicionamento das placas coletoras com relação ao plano horizontal, um vez que estas se encontram posicionadas ao quadrante sul, sua inclinação em 30° pouco contribui para a eficiência do sistema.

## CONCLUSÃO

Embora o aproveitamento da energia solar seja uma preocupação bastante antiga em todo o mundo, só nas últimas décadas do século XX foram aprimoradas técnicas que possibilitaram a construção de coletores e outros componentes, que tornaram viável sua utilização com um alto rendimento e a custos compatíveis com outras fontes clássicas de energia.

No Brasil, apesar das imensas áreas propícias para captação da radiação solar, ainda hoje não há uma política explícita para o uso da energia solar e, por isso, o desenvolvimento de equipamentos adequados ficou bastante prejudicado pela falta de um padrão construtivo, o que ocasionou também a incompatibilidade na adaptação dos coletores às construções civis que quase sempre não são projetadas para recebê-los corretamente.

Seguindo essa tendência, fabricantes de equipamento para captação de energia solar pleitearam a certificação de seus produtos pelo INMETRO, para que de posse de um selo de qualidade pudessem ter dados confiáveis de rendimento e mostrar que, comercialmente, representam uma alternativa adequada, em relação a energia elétrica, no caso de aquecimento de água para uso doméstico.

No entanto, apesar das melhorias conseguidas nos equipamentos, constatou-se que ainda não existe uma preocupação clara dos engenheiros e arquitetos em relação à integração do coletor ao projeto arquitetônico das construções, bem como as deficiências nas instalações dos coletores, o que, conseqüentemente, faz com que o sistema não atinja a sua máxima eficiência.

Assim sendo, com base no levantamento realizado e dos resultados obtidos, podemos concluir que:

1. O posicionamento inadequado das placas coletoras com relação ao Norte Verdadeiro e ao seu ângulo de inclinação com relação ao horizonte, não permite que o sistema utilizado atinja sua máxima eficiência.
2. O modelo quadriculado do partido urbanístico existente na área de estudo acaba sendo transferido para os lotes, impondo os rumos para os telhados e estes, por sua vez, os rumos para as placas coletoras, logo, exercendo grande influência na obtenção de resultados quanto à eficiência do sistema de aquecimento d'água com coletores instalados.
3. O sombreamento causado pela vegetação existente nas proximidades das instalações das placas coletoras compromete sua máxima eficiência. Isso

demonstra que não houve uma discussão entre o paisagista e o instalador do sistema não considerando o sombreamento que a futura vegetação poderá causar. Nesta sugere-se duas hipóteses: primeiro, da vegetação existente na calçada; segundo, da vegetação existente dentro do lote urbano.

4. Ausência de manutenção em alguns casos dado à dificuldade de acesso às placas coletoras.

Diante dessas conclusões, observamos que há incompatibilização nos projetos independentemente do partido urbanístico, pois os fatores arquitetônicos e técnicos continuam empregando de forma inadequada os coletores de energia solar.

O que nos leva a alertar os profissionais envolvidos nos projetos é que informações como pré-dimensionamento para demanda, o melhor ângulo de incidência da radiação para uma correta eficiência do coletor ou formas de instalação e manutenção, estão disponíveis por meio de normas técnicas e manuais explicativos aos projetistas. Dessa forma, os profissionais da construção civil (engenheiros, arquitetos, construtores), deveriam ser informados através de palestras, via associações e CREAS, bem como *sites* que dispusessem de ferramentas destes pré-dimensionamentos.

Também no que diz respeito à eficiência do produto, o INMETRO e Green Solar já estão certificando-os; o que falta é o contato com arquitetos e projetistas para que juntos possam desenvolver estudos da posição correta na instalação, com o fim de torná-lo mais harmonioso às edificações.

O que deve ficar claro é que o produto é bom e traz benefícios aos usuários. Então, os fabricantes e instaladores deveriam se unir aos projetistas e construtores, profissionais que estão intimamente ligados aos clientes, para juntos elaborarem um projeto que atenda as exigências, sem que, com isto, comprometa quaisquer das partes, tal como é feito com os projetos complementares: elétricos, hidráulicos, telefônicos, dentre outros.

Enfim, a partir do momento em que os profissionais se unirem para troca de informações na elaboração de seus projetos, não ocorrerá deficiência na instalação dos coletores e nem tampouco a vegetação causará sombreamento nos coletores. Portanto, o importante é desenvolver um projeto articulado entre os fatores arquitetônicos e técnicos da construção, possibilitando ao sistema atingir sua máxima eficiência. Dessa forma, podemos afirmar que haverá compatibilização do sistema e o projeto da edificação.

## BIBLIOGRAFIA

- ALENCAR, Francisco de; SAGLIETTI, José Corrêa. *Análise de viabilidade de uma telha coletora de energia solar de cimento amianto*. In: Energia na Agricultura. Bauru: FAAC/UNESP, 1998.
- ALMEIDA, P. I. F A padronização dos testes de aquecedores solares residenciais. In: VII Congresso Brasileiro de Energia Mecânica, 1983. *Anais...* São Paulo ABCM, 1983.
- ALVARENGA, C. A. *Fontes alternativas de energia: energia solar*. Lavras-MG: UFLA/FAEPE, 1998.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Coletores solares planos para líquidos determinação do rendimento térmico: NBR 10184*. Rio de Janeiro, 1988.
- \_\_\_\_\_. *Execução de instalação de sistemas de energia solar que utilizam coletores solares planos para aquecimento de água: NBR 12269*. Rio de Janeiro, 1992.
- BEZERRA, A. M. *Aplicações práticas da energia solar*. São Paulo: Nobel, 1990.
- BORGES, T. P. F. Síntese otimizada de sistemas de aquecimentos solar de água. *Tese de doutorado*. Campinas: Unicamp, 2000.
- BRANCO, S. M. *Energia e meio ambiente*. São Paulo: Moderna, 1999.
- CAMPBELL, S. *Construa o seu aquecedor solar*. Lisboa: Europa América, 1978.
- CLOSE, D. J. *An introduction to solar energy systems and system design*. Hignett, 1980.
- DUFFIE, J. e BECKMAN. *A Solar engineering of thermal processes*. 2 ed. New York: Johnn Witey & Sons, 1991.
- ESPARTEL, L. *Curso de Topografia*. Porto Alegre: Globo, 1978.
- FAGÁ, M. Energia solar ainda está no futuro. *Jornal da USP*. São Paulo, 16 a 22 ago. 1991.
- GELLER, H. S. *O uso eficiente da eletricidade: uma estratégia de desenvolvimento para o Brasil*. Rio de Janeiro: INEE, 1991.
- GREEN SOLAR. Centro Brasileiro para Desenvolvimento da Energia Solar. Minas Gerais: PUC, 2002.
- HENDEN, L.; REKSTAD, J.; MEIR, M.. *Bthermal performance of combined solar systems with different collector efficiencies*. Periódico: Solar Energy, v. 72, issues 4, april 2002, p. 299-305. Disponível: <<http://www.sciencedirect.com/science>> Acesso em: 3 de maio 2002.
- HERGE, Vidigal; SUAREZ, R. *Analysis of a plastic solar collector*. Mgmt: Energy Couvers, v. 31, n. 3, 1991.



HESTNES, Anne Grete. *Building Integration of Solar Energy Systems*. Periódico: Solar Energy, v. 67, issues 4-6, 1999, p. 181-187. Disponível: <<http://www.sciencedirect.com/science>> Acesso em: 3 de maio 2002.

JANNUZZI, G. de M. *A energia solar*. Disponível em: <<http://www.fem.unicamp.br/jannuzzi/solar.htm>> Acesso em: 3 de maio 2002.

\_\_\_\_\_. *Pré-aquecedor solar de baixo custo para chuveiros elétricos*. Campinas: CPFL/UNICAMP, 1992.

KIMURA, Ken-ichi. *Solar Architecture for the happiness of mankind*. Periódico: Solar Energy, v. 67, issues 4-6, 1999, p. 169-179. Disponível: <<http://www.sciencedirect.com/science>> Acesso em: 3 de maio 2002.

KOCZICKI, C. *Topografia I: planimetria*. Curitiba: CEFET, 1996.

LIMA, Walter Moreira; BUENO, Loril Leocádio. Coletor solar plano utilizando superfícies seletivas e tubos de calor. *Projeto de Pesquisa*. Maringá: UEM, julho de 1991.

LUIZ, A. M. *Como aproveitar a energia solar*. São Paulo: Edgard Blucher, 1985.

McVEIGH, J. C. *Energia Solar: Introdução às Aplicações da Energia Solar*. Lisboa: CETOP, 1977.

MESQUITA, Lúcio César Souza. *Panorama Atual da utilização de Aquecimento Solar*. Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento. São Paulo: ABRAVA, 1996.

MESQUITA, Lúcio César Souza; et al. *O aquecedor solar de água para o setor elétrico e para o usuário final*. São Paulo: ABRAVA, 1996.

PALZ, W. *Energia solar e fontes alternativas*. São Paulo: Hemus, 1981.

PEREIRA, Elizabeth M. Duarte. *Programa Brasileiro de Etiquetagem de coletores Solares Planos INMETR / ABRAVA. PUC – MG*. Programa de Etiquetagem. Disponível em: <[http://www.green.pucminas.br/etiqueta\\_Res.htm](http://www.green.pucminas.br/etiqueta_Res.htm)>. Acesso em: 16 ago. 2001.

PLAZOLA, A. *Arquitectura habitacional*. México: Luniuza, 1985.

PROGRAMA RADIASOL. Disponível em: <[www.mecanica.ufrgs.br/solar](http://www.mecanica.ufrgs.br/solar)> Acesso em: 3 de maio de 2002.

RODITI, David. *No Worries: guaranteeing solar results*. Renewable Energy World/ March, 1999.

SABADY, P. R.. *A Energia Solar na Habitação*. 3 ed. Lisboa: CETOP, 1979.

SEWELL, C; BROWN, P. B. *Clientes para sempre*. São Paulo: HARBRA, 1993.

SZOKOLAY, S. V. *Energia solar y edificacion*. Barcelona: Editorial Blume, 1978.

TOMBAZIS, A.N. and PREUSS, S.A.. *Design of passive solar buildings in urban areas*. Periódico: Solar Energy, v. 70, issue 3, 2001, p. 311-318. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science>> Acesso em: 3 de maio 2002.

VASSILES, B. & MATHIOULAKIS, M. *Analytical approach of thermosyphon solar domestic hot water system performance*. Solar Energy. V. 72, Issue 4, april 2002, p. 307-317, 2001. Disponível em <<http://www.sciencedirect.com/science>> Acesso em maio 2002.